

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Využití kapalné frakce digestátu jako zdroje
makroprvků pro bazalku**

Bakalářská práce

Anna Divišová

Zahradní a krajinářské úpravy

doc. Ing. Martin Kulháněk, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Využití kapalné frakce digestátu jako zdroje makroprvků pro bazalku" 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 neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22. 4. 2022

Poděkování

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

Využití kapalné frakce digestátu jako zdroje makroprvků pro bazalku

Souhrn

V České republice, ale i celosvětově počet bioplynových stanic roste a stává se aktuálním problémem využití zbytků vznikajících anaerobní fermentací. Jedním z těchto zbytků je separovaný fugát, který se dá využít jako hnojivo či příměs do substrátů.

Cílem této práce bylo dokázat, že substrát složený z fugátu se slámou, rašeliny a dolomitického vápence může vytvořit vhodné prostředí pro růst rostlin, konkrétně bazalky (*Ocimum basilicum*). Klíčová část pokusu byla dále zaměřena na využití kapalné frakce digestátu jako zdroje makroelementů.

Vycházeli jsme z předpokladu, že samotná rašelina je chudá na živiny a má nízké pH (kolem hodnoty 4), a naopak fugát se slámou je dobrým zdrojem živin, se zásaditým pH (nad hodnotu 7). Smícháním těchto dvou komponentů by měl vzniknout tedy optimální pěstební substrát. Protože fugát zvýší hodnotu pH jen krátkodobě, byl proto přidán dolomitický vápenec, jako stabilizátor. Jedním z principů experimentu bylo porovnání nově smíchaného substrátu, ve čtyřech variantách s různým poměrem jednotlivých částí a dvou běžně používaných pěstebních substrátů. První namíchaná (RFS) varianta měla 5 % fugátu se slámou a 12 g/l dolomitického vápence, druhá varianta obsahovala 10 % fugátu se slámou a 10 g/l dolomitického vápence, ve třetí pak bylo 15 % fugátu se slámou a 8 g/l dolomitického vápence a v poslední variantě 20 % fugátu se slámou a 6 g/l dolomitického vápence. Jako první kontrolní varianta byl použit univerzální pěstební substrát a druhým kontrolním substrátem byla bílá rašelina s přidáním hnojivem PG MIX.

Sledovanými parametry v substrátech před i po sklizni byly: základní charakteristiky (objemová hmotnost, sušina substrátu, pH, vodivost) a obsah přístupných makroživin. U rostlin byly sledovány výnosy sušiny a celkový obsah makroprvků v nadzemní hmotě. Obsahy makroelementů byly analyzovány následujícími metodami: vodným výluhem, výluhem 0,01 mol/l CaCl₂, CAD a Melich 3.

V případě RFS substrátů byla oproti kontrolním substrátům nízká výnosnost, která byla nejspíše způsobena nízkým obsahem dusíku na počátku vegetace. Tento nedostatek by mohl být vyřešen včasným hnojením dusičnanem vápenatým.

Klíčová slova: fugát; rašelina; bazalka; pěstební substrát

Using of digestate liquid phase as a source of macronutrients for sweet basil

Summary

In the Czech Republic, but also globally, the number of biogas stations is growing and the use of residues generated by anaerobic fermentation is becoming a current problem. One of these residues is a separated Fugate that can be used as a fertilizer or addition to substrates.

This work aimed to prove that a substrate composed of a Fugate with straw, peat, and dolomitic limestone can create a suitable environment medium for the growth of plants, specifically basil (*Ocimum basilicum*). The key part of the experiment was further focused on using the liquid fraction of the digestate as a source of macroelements.

We assumed that the peat itself is poor in nutrients and has a low pH (around 4), and conversely, the Fugate with straw is a good source of nutrients, with an alkaline pH (above 7). Mixing these two components should produce an optimal growing substrate. As the Fugate will only increase the pH value in the short term, dolomitic limestone has been added, as a stabilizer. One of the principles of the experiment was to compare the newly mixed substrate, in four variants with different proportions of individual parts and two commonly used growing substrates. The first mixed (RFS) variant had 5 % Fugate with straw and 12 g/l dolomitic limestones, the second variant contained 10 % Fugate with straw and 10 g/l dolomitic limestones, the third contained 15 % Fugate with straw and 8 g/l dolomitic limestones and, in the last variant was 20 % Fugate with straw and 6 g/l dolomitic limestones. The first control variant used the universal growing substrate used and the second control substrate was white peat with added PG MIX fertilizer.

The parameters monitored in both pre-and post-harvest substrates were: essential characteristics (density, substrate dry matter, pH, conductivity) and amount of accessible macronutrients. For plants, the dry matter yields and the total macro-element content of the above-ground matter were monitored. The macroelement contents were analyzed using the following methods: aqueous extract, 0,01mol/l CaCl₂, CAD, and Melich 3.

In the case of RFS substrates, there was a low yield relative to control substrates, which was most likely due to low nitrogen content at the beginning of the vegetation. This deficiency could be overcome by early fertilization of calcium nitrate.

Keywords: fugate; peat; basil; growing medium

Obsah

1	Úvod	7
2	Cíl práce	8
2.1	Vědecká hypotéza	8
2.2	Cíle práce	8
3	Literární řešerše	9
3.1	Bioplynové stanice	9
3.1.1	Obecné rozdělení	10
3.2	Anaerobní fermentace	10
3.2.1	Stupně anaerobního rozkladu organického materiálu	11
3.3	Digestát	13
3.4	Zahradnické substráty	14
3.4.1	Organické komponenty	14
3.4.2	Minerální komponenty	14
3.5	Makroživiny	15
3.5.1	Dusík	15
3.5.2	Fosfor	15
3.5.3	Draslík	16
3.5.4	Vápník	17
3.5.5	Hořčík	17
3.5.6	Síra	18
3.6	Bazalka pravá (<i>Ocimum basilicum</i>)	19
4	Metodika a materiál	20
4.1	Provedené analýzy	21
4.2	Stanovení hodnoty pH a vodivosti	21
4.2.1	Aktivní pH a vodivost	21
4.2.2	Výměnné pH	21
4.3	Stanovení obsahu okamžitě přístupných makroprvků vodným výluhem	21
4.4	Stanovení rychle dostupných makroprvků výluhem v 0,01 mol/l Ca/Cl	21
4.5	Stanovení potenciálně přístupných makroprvků metodou CAD	22
4.6	Stanovení vybraných makroprvků metodou Mehlich 3	22
4.7	Analýzy rostlin	22
4.8	Obsah N v nadzemní hmotě	22

4.9	Zpracování výsledků.....	22
5	Výsledky.....	23
5.1	Rozbory vstupních substrátů.....	23
5.1.1	Stanovení okamžitě přístupných makroprvků vodným výluhem.....	24
5.1.2	Stanovení rychle dostupných prvků v 0,01 mol/l CaCl ₂	25
5.1.3	Potencionálně přístupné makroživiny stanovené metodou CAD.....	26
5.1.4	Potencionálně přístupné makroprvky stanovené metodou Melich 3	27
5.2	Vyhodnocení posklizňových analýz.....	28
5.2.1	Základní vlastnosti substrátů po sklizni	28
5.2.2	Makroživiny v posklizňových substrátech.....	30
5.2.3	Makroživiny v rostlinách	33
6	Diskuse	36
7	Závěr.....	39
8	Literatura	40
8.1	Legislativa.....	44

1 Úvod

V poslední době je stále větší potřeba usilovat o ekologický přístup se stále se zvyšujícím technologickým pokrokem a hledáním alternativ k neobnovitelným zdrojům energie. Jedním z příkladů jsou bioplynové stanice patřící k obnovitelným zdrojům energie dle zákona č. 180/2005 Sb.

Bioplynové stanice nám umožňují zpracovávat biologicky rozložitelný odpad s primárním účelem získání bioplynu. Bioplyn je dále využíván k výrobě převážně tepelné energie. A jako sekundární produkt při procesu anaerobní fermentace vzniká digestát, který je posléze využit jako hnojivo a nevzniká tak žádný odpadní produkt. Nejčastějším typem bioplynových stanic jsou zemědělské, které využívají živočišného odpadu a biomasy z polí.

Výstavba BPS má své klady i zápory. Jedním pozitivem je již zmíněná ekologická stránka, kdy se snižuje i potřeba fosilních paliv, omezení skládkování apod. Dále slouží jako příležitost k podnikání a snížení nezaměstnanosti.

Negativní stránkou pak může být zápach, který je již možné řešit při použití moderních technologií. Výstavba BPS je vysoce nákladná, ale i tento fakt již z části řeší dotace z evropského fondu.

Za posledních pár let počet BPS vzrostl a do budoucna lze uvažovat, že bude jich stále více přibývat. Je tedy na místě hledat možnosti využití digestátu. Ve své práci se proto zabývám tématem, který přispěje zas o krok v poznání využití kapalné frakce digestátu jako zdroje makroprvků pro bazalku.

2 Cíl práce

2.1 Vědecká hypotéza

Kapalná složka digestátu (fugát) je bohatá na makroprvky a má vysoké pH. Jejím přidáním do rašeliny tak vznikne substrát vhodný pro pěstování bazalky.

2.2 Cíle práce

Hlavním cílem pokusu bude pomocí směsi fugátu se slámou a rašelinou sestavit vhodný pěstební substrát pro pěstování bazalky. Dílčím cílem této bakalářské práce bude vyhodnotit substrát z hlediska obsahu přístupných makroprvků (N, P, K, Ca, Mg a S).

3 Literární rešerše

3.1 Bioplynové stanice

Bioplynové stanice (BPS) jsou moderní, technologická a ekologická zařízení, která se běžně provozují v celé Evropské unii. Zpracovávají bioodpad v uzavřených reaktorech prostřednictvím řízeného procesu anaerobní digestace (za nepřístupu vzduchu).

Největší rozvoj zemědělských BPS v ČR proběhl během let 2008 – 2012. V období těchto pěti let se dostala licence přibližně třem stům zemědělských stanic. Díky zkušenostem z Německa a Rakouska vydalo Ministerstvo zemědělství ČR v roce 2007 publikaci: Desatero bioplynových stanic. Cíl této publikace byl udat zásady efektivní výstavby a provozu BPS a také návod, jak získat dotace z evropského fondu. Mezi zásadami bylo např.: dostatek kvalitních vstupních surovin, využití odpadního tepla, nakládání s digestátem a možnost jeho využití jako kvalitního hnojiva a další zásady, jak uvádí KASAL et al. (2016).

Anaerobní fermentace je jedna z nejnáročnějších technologií zpracování biologicky rozložitelných odpadů z hlediska stavebního a technologického vybavení. Náklady na výstavbu bioplynové stanice jsou dvakrát až třikrát vyšší jak u výstavby kompostárny, která spolu s technologií termického zpracování se řadí mezi další možnost využití biologicky rozložitelného odpadu. Rozdíl u technologie kompostování je použití fermentace za přístupu vzduchu (ALTMANN et al., 2010). Anaerobní digesce je upřednostňovaným způsobem nakládání s odpady, protože se jedná o tzv. green energy (BARAMPOUTI et al., 2020). Z hlediska ochrany životního prostředí má anaerobní rozklad má v první řadě za cíl odstranění organického znečištění a stabilizaci organické hmoty, z hlediska ochrany životního prostředí. Bioplyn (v Evropě) je tedy z ekonomického a ekologického hlediska spíše považován za vedlejší produkt fermentačního procesu (ALTMANN et al., 2010).

Funkci bioplynové stanice zajišťuje metabolická aktivita anaerobních organismů, jako jsou bakterie a archaea společně s přítomnými bakteriofágy a anaerobními houbami. Výsledkem procesu je jako hlavní produkt bioplyn, který je nejčastěji používán k efektivní výrobě obnovitelné elektřiny a tepla, či se používá jako palivo. Druhým produktem anaerobní digesce je stabilizovaný produkt tzv. digestát, který lze použít za daných podmínek jako hnojivo. (BAČÍK, 2008; MATĚJKA et al., 2010; ALTMANN et al., 2010).

Bioplyn jako pojem, lze použít jako název pro všechny druhy plyných směsí, které vznikly činností mikrobů v anaerobních podmínkách. Ve všech případech vznikají principiálně stejně, ať už probíhá metageneze pod povrchem země, v rašeliništích, na dně jezer, v batoru přežvýkavců či v řízených anaerobních reaktorech. V technické praxi se vymezilo použití termínu bioplyn pro směs plynů, vzniklých anaerobní fermentací vlhkých organických látek v technickém zařízení (reaktorech, digestorech, lagunách s vybavením na jímání bioplynu atd.). Jedná se tedy o plynou směs, kde je ze dvou třetin hlavní složkou methan (50 – 85 % obj.) a jedné třetiny oxid uhličitý (30 – 50 %), procentuální zastoupení dalších složek je velice nízké (např. vodík, sulfan, amoniak). Koncentrace složek je ovlivněna v první řadě zpracovávaným substrátem (obsah methanu) a kultivačními podmínkami, jako jsou například teplota, pH, atd. Tyto okolnosti ovlivňují i koncentraci dalších složek bioplynu (H_2S , N_2 , O_2 a dalších) (KÁRA et al., 2007; MATĚJKA et al., 2010; KRATOCHVÍLOVÁ et al., 2009).

Digestát je tvořen převážně částečně rozloženým a nerozloženým podílem zpracovaného substrátu a biomasou mikroorganismů, podílejících se na vlastní fermentaci. Uhlík z rozložené

hmoty jde v 95 % do bioplynu a zbylých 5 % do biomasy mikroorganismů. Digestát podle technologie zpracování a zpracovávané suroviny, může obsahovat i patogenní organismy v různém množství, v závislosti na těchto podmínkách (MATĚJKA et al., 2010; ŠVEHLA et al., 2004).

Využití biomasy, jakožto perspektivního obnovitelného zdroje energie v našich podmínkách, nám pomáhá diverzifikovat výrobu elektřiny a snížit poptávku po neobnovitelných zdrojích energie. Další výhodou využití biomasy pro výrobu elektřiny je snížení množství odpadu (MOTLÍK a VÁŇA, 2002).

3.1.1 Obecné rozdělení

Obecné rozdělení BPS je podle zpracovaného substrátu na:

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

3.1.1.1 Zemědělské BPS

Zemědělské BPS jsou takové bioplynové stanice, které zpracovávají materiály rostlinného charakteru a statkových hnojiv, resp. podestýlky. V těchto bioplynových stanicích není možné zpracovávat odpady podle zákona č. 541/2020 Sb., o odpadech, ani jiné materiály, které spadají pod nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002 o vedlejších živočišných produktech (AUTERSKÁ, 2010).

Zemědělské BPS (také farmářské BPS) jejichž vstupy lze hodnotit jako nejméně problematické. Zpracovávají pouze vstupy ze zemědělské prvovýroby zejména statková hnojiva (kejda, hnůj apod.) a cíleně pěstované plodiny (nap. kukuřice) k energetickému využití. Jsou většinou situovány v areálech stávajících zemědělských provozů a zpracováním a stabilizací statkových hnojiv výrazně snižují dosavadní zatížení oblasti pachovými látkami (BAČÍK, 2008).

Bioplyn, který je složen převážně z methanu a oxidu uhličitého, což jsou plyny bez zápachu, přesto zapáchá. Tento zápach je způsoben zejména sirnými sloučeninami, a to obzvláště obsahem H_2S . Tyto látky páchnou již ve velice nízkých koncentracích. Obsah H_2S závisí na množství organických sirných sloučenin (sirné aminokyseliny) a síranů ve zpracovávaném materiálu (ŠVEHLA et al., 2004).

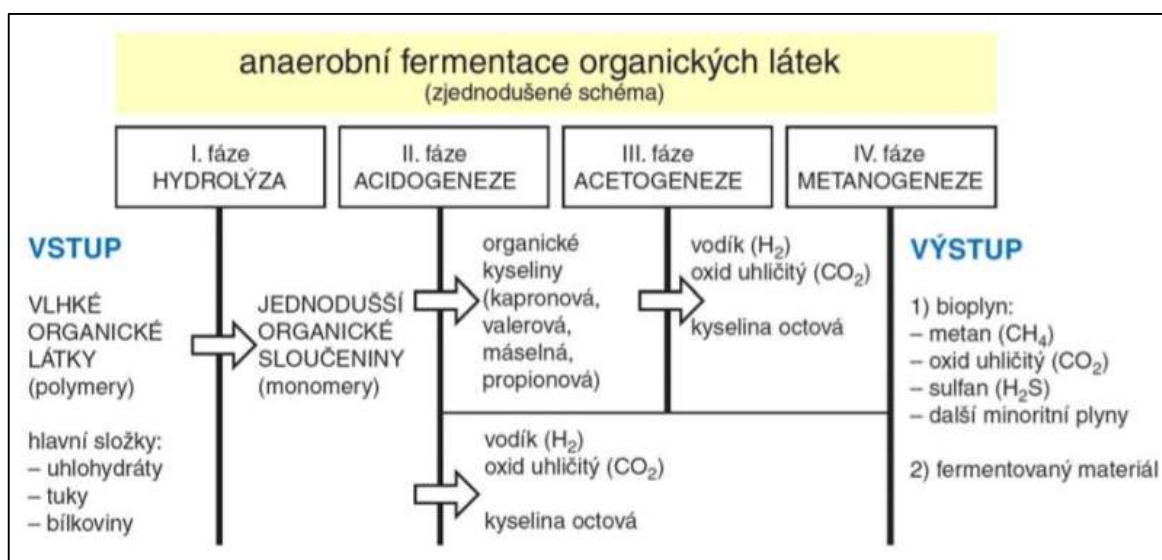
Nejvýznamnějším místem, kde může k emisím pachových látek docházet, jsou zejména zásobní vstupní jímky na substrát. Zde nadávkovaný substrát může začít kvasit a při manipulaci s víkem jímky, při míchání, dávkování apod., mohou být emise pachových látek nezanedbatelné. V takovém případě je řešením biofiltr a vhodné odsávání odpadního vzduchu z této jímky (AUTERSKÁ, 2010).

3.2 Anaerobní fermentace

Anaerobní fermentace neboli „anaerobní metanová fermentace organických látek“, či anaerobní digesce, biogasifikace a biometanizace je biologický proces rozkladu organické hmoty probíhající za nepřístupu vzduchu. Při tomto metanizačním procesu směsná skupina mikroorganismů v několika stupních rozkládá organickou hmotu. Produkt jedné skupiny mikroorganismů se stává substrátem pro další skupinu. Na synergetickém působení jednotlivých

skupin mikroorganismů je následně závislá efektivita činnosti BPS. Mikroorganismy se vyznačují nízkými růstovými rychlostmi a nízkou rychlostí odstraňování substrátu. A právě stimulací jednotlivých skupin mikrobů, můžeme dosáhnou urychlené hydrolýzy substrátů, vyšší produkce vodíku či fermentačních produktů a následně zvýšené produkce nebo zvýšené rychlosti produkce methanu. Proto jsou v poslední době podrobně studovány možnosti intenzifikace metanizačních procesů, zvláště hydrolýzy, jakožto nejpomalejší reakce ve většině případů. Proces můžeme rozdělit do 4 hlavních fází – hydrolýza, acidogeneze, acetogeneze a metanogeneze (Obr. 1) (ALTMANN et al., 2010; BIOPROFIT, 2007; ŠVEHLA et al., 2004; MATĚJKA et al., 2010).

Pokud tyto 4 stupně rozkladu probíhají v jedné společné nádrži biofermentoru, mluví se o jednostupňových zařízeních. Bakterie jednotlivých kroků přeměny mají nicméně rozdílné požadavky na životní prostředí, a proto se hledají kompromisy. Vhodnější případ je, pokud fáze hydrolýzy a acidogeneze probíhá společně a fáze acetogeneze spolu s metanogenezí, to vše ve dvoustupňových zařízeních. Acetogenní bakterie jsou citlivé na pro ně škodlivý vodík, proto mají úzké životní společenství s methanogenními bakteriemi, které vodík spotřebují při tvorbě methanu. Existuje i třístupňová fáze, ovšem v zemědělských bioplynových stanicích se používají nejvíce jednostupňové případně dvoustupňové metody (KRATOCHVÍLOVÁ et al., 2009).



Obr.1: Zjednodušené schéma anaerobní fermentace (KÁRA et al., 2007).

3.2.1 Stupně anaerobního rozkladu organického materiálu

3.2.1.1 Hydrolýza

Prvním stádiem je hydrolýza vysokomolekulárních látek (rozpuštěných i nerozpuštěných), z hlavních skupin lipidů, proteinů a polysacharidů. Proces se uskutečňuje pomocí extracelulárně působících hydrolytických enzymů, které produkují fermentační bakterie.

Vysokomolekulární sloučeniny jsou přeměny na nízkomolekulární látky, které jsou rozpustné ve vodě a zároveň jsou schopny transportu dovnitř buňky, kde pokračuje jejich rozklad.

3.2.1.2 Acidogeneze

Současně s hydrolýzou probíhá také acidogeneze. Neboli kyselinová či kyselinotvorná fáze (okyselení), vedoucí k tvorbě nižších nasycených organických kyselin a alkoholů, po primární

destrukci sacharidů, lipidů a proteinů, probíhající uvnitř buňky. V tomto procesu se uvolňuje rovněž vodík (H_2) a oxid uhličitý (CO_2).

Rozklady mohou probíhat za přístupu i nepřístupu vzduchu, činností fakultativních anaerobů. Fakultativní anaerobové jsou hydrolytické a acidogenní mikroorganismy, se schopností provozovat svou činnost za přístupu i nepřístupu kyslíku. Zároveň velmi rychle zajišťují anaerobní prostředí, ve kterém se mohou rozvíjet methanogeny. Hydrolyzu a acidogenezí zajišťují mikroby patřící do čeledí *Streptococcaceae* a *Enterobacteriaceae* a příslušící k rodům *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Eubacterium* a dalším.

Acidogenní mikroorganismy produkují dva hlavní substráty pro tvorbu methanu. Prvním je kyselina octová, přeměněna acetotrofními methanogeny či eventuálně směs vodíku a oxidu uhličitého, což je rychleji zpracováno hydrogenotrofními methanogeny, což způsobí žádoucí vymizení vodíku z výsledného bioplynu. Obsah vodíku v bioplynu je ukazatelem nerovnováhy mezi acido a methanogenními procesy, většinou to má za příčinu následný pokles pH, což může vyvolat např. přetížení reaktoru (důvodem je nevhodné složení substrátu) či inhibice činnosti hydrogenotrofních bakterií.

3.2.1.3 Acetogeneze

Zvláštním případem acidogeneze je acetogeneze, přesněji pak „Syntrofní acidogeneze“, kdy oxidací vzniká přímo kyselina octová, H_2 a CO_2 z vyšších nasycených karbonových kyselin.

Bakterie tzv. syntrofních druhů jsou, jak se ukázalo vrcholně důležité pro anaerobní rozklady. Vstupují jako funkční mezičlánky poskytující jednak krok za krokem kratší alifatické kyseliny, a jednak přitom produkují směs vodíku a oxidu uhličitého.

Syntrophobacter wollii rozkládá kyselinu propionovou na kyselinu octovou, vodík a oxid uhličitý. *Syntrophomonas wolfei* štěpí ostatní alifatické kyseliny. Kyseliny se sudým počtem uhlíků na kyselinu octovou a vodík a kyseliny s lichým počtem uhlíků na kyselinu propionovou a octovou a vodík.

Spolupráce s dalšími mikroorganismy, které spotřebují vodík, jimi vytvořený, je pro ně nezbytná. Pokud se totiž přebytečný vodík nespotřebuje bude omezena činnost acetogenních organismů a tím i produkce metanogenních substrátů v systému.

Acidogeny produkují dva hlavní substráty pro tvorbu methanu. Prvním je kyselina octová, přeměněná „acetotrofními methanogeny“, či eventuálně směs vodíku a oxidu uhličitého, která je rychleji zpracována „hydrogenotrofními methanogeny“. Hydrogenotrofní methanogeny způsobí žádoucí vymizení vodíku z výsledného bioplynu. Obsah vodíku v bioplynu je ukazatelem nerovnováhy mezi acido a methanogenními procesy a většinou to má za příčinu následný pokles pH, což může vyvolat např. přetížení reaktoru (důvodem je nevhodné složení substrátu) či inhibice činnosti hydrogenotrofních bakterií.

3.2.1.4 Methanogeneze

Metanogeneze je finálním článkem rozkladného řetězce. Je zajišťována mikroorganismy tzv. metanogeny, pro jejichž činnost a průběh reakcí směřujících k produkci methanu, má velký význam pohyb vodíku ve sledovaném prostředí. Vodík silně ovlivňuje systémy redukce a oxidace elektronových přenašečů. Methanogeny rozkládají již jednoduché látky na methan a oxid uhličitý (ALTMANN et al., 2010; STARKA et al., 2003; BIOPROFIT, 2007).

3.3 Digestát

Zákon č. 156/1998 Sb. o hnojivech, pomocných půdních látkách, rostlinných biostimulantech a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech), definuje digestát jako organické hnojivo vzniklé při anaerobní fermentaci při výrobě bioplynu. Digestát je složen ze dvou fyzikálně oddělitelných částí, a to tuhé separátu a kapalné fugátu. Vyhláška č. 131/2014 Sb., kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů, a vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv, zařazuje digestát mezi organická hnojiva s množstvím sušiny mezi 3 – 13 %. Průměrně je v digestátu sušina zastoupena 6,5 %, přičemž ve fugátu pouze 4,2 % a naopak v tuhé fázi je až 23% průměrný obsah sušiny.

Dle zákona a vyhlášek je tedy digestát řazen mezi (typová) organická hnojiva, jde však o tom do značné míry polemizovat. Při procesu digesce je odbouráno 50 % (i více) aktivních organických látek a sušina ve výsledku klesne na 2 – 8 %.

V zákoně jsou dále ukotveny hygienické požadavky, které by digestát měl splňovat, aby mohl být následně využit jako organické hnojivo do substrátů. Jde o splnění tzv. limitních hodnot rizikových prvků a procesních hygienizačních parametrů. Dále nelze pro tento fermentační zbytek použít jako surovinu odpady dle zákona č. 541/2020 Sb. o odpadech, ve znění vedlejších předpisů. Výsledná kvalita digestátu používaného jako hnojivo, je právě ovlivňována kvalitou vstupních surovin, které jsou následně zpracovávány (JEŘÁBKOVÁ a DUFFKOVÁ, 2019). Digestát je velmi vhodným hnojivem, díky vysokému obsahu amonného N, jak prokázali ALBURQUERQUE et al. (2012). Dále potvrzují, že je potřeba dát pozor na obsahy rizikových prvků (Cu a Zn zejména), fytotoxicitu, zasolenost a další hygienické vlastnosti, které jsou ovlivněny vstupními substráty (ALBURQUERQUE et al., 2012).

Digestát má na rozdíl od vstupního materiálu vyšší obsah minerálních rostlinám přístupných živin (hlavně dusíku). Podle TAMBONE et al. (2010) je digestát z BPS díky anaerobní fermentaci dobrým zdrojem přístupných živin hlavně N, P, K. Hodí se tedy jako alternativní minerální hnojivo. Dále má vyšší iontovou výměnnou kapacitu a pufrací kapacitu (BADALÍKOVÁ et al., 2018; KASAL et al., 2016; VÍTĚZ et al., 2013).

Obecně je známo, že pH digestátu je alkalické. Při procesu digesce se pH zvyšuje, nejspíš díky tvorbě $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$. Jeho konečná hodnota je převážně závislá na vstupním materiálu a digestačním procesu (MAKÁDI et al., 2012).

Tuhá část separát a kapalná část fugát jsou zastoupeny v digestátu v poměru 4 – 5: 1. Obě složky mají jiný vliv na půdu a plodiny. V případě fugátu je dosahováno podobných výsledků, jako při použití minerálních hnojiv. Naopak separát dodává do půdy hlavně organické látky (podobný účinkům hnoje). Separát oproti fugátu dodává dvojnásobné množství P a Mg do půdy (JEŘÁBKOVÁ a DUFFKOVÁ, 2019).

3.4 Zahradnické substráty

Pěstitelské substráty řadíme do skupiny organických materiálů. Jejich specifčnost je daná tím, že mají více charakter pěstebního média (nejsou hlavním zdrojem živin), než hnojiva. Dalšími komponenty substrátu, kromě již zmíněné organické hmoty, je zemina a v některých případech i přidané meliorační látky, jako např. perlit, pemza, bentonit apod.

V zahradnictvích byly do nedávna používány zahradnické zeminy, které měli dobrý vliv na pěstování plodin. Definice zeminy podle LOŠÁKA a HLUŠKA (2007) je část půdy, která byla odebrána na jiné místo, kde slouží jako substrát. Je možná také úprava zemin zejména kompostováním s organickou hmotou. Podle použitého materiálu se rozlišují zeminy např. pařeništní, kompostová, drnovka, listovka a další (LOŠÁK a HLUŠEK, 2007). V dnešní době je při výrobě substrátů nejvíce používaná rašelina, která má nízkou objemovou hmotnost. Do rašeliny se často přidává fermentovaná kůra. Rašelina, ale nevykazuje vlastnosti zahradních zemin, a proto je pro ně používán termín substrát.

Obecné požadavky na zahradnické substráty se dělí do tří skupiny a to na: biologické, chemické a fyzikální. U biologických je hlavní hygienická nezávadnost, substrát by měl být bez zárodků chorob, škůdců, inhibičních látek, reziduí pesticidů, dále bez plevelů i klíčivých semen.

V případě chemických požadavků je důležité vhodné pH, pufrovací schopnost, obsah solí, obsah rizikových prvků (těžké kovy, Na, Cl apod.), přiměřený obsah organických látek, poměr C : N, obsah přijatelných živin aj.

Z hlediska fyzikálních vlastností se hodnotí např. velikost částic, struktura, pórovitost, sorpce živin, vzdušná a vodní kapacita.

Nejvýznamnější z těchto vlastností jsou zejména obsah organických látek, vodivost, hodnota pH a objemová hmotnost (VANĚK et al., 2012).

3.4.1 Organické komponenty

Dodávají se jimi organické látky, a hlavně ovlivňují fyzikální vlastnosti substrátů, tedy vzdušnost a jímavost pro vodu. Nejčastěji používaným materiálem je rašelina.

Rašelina se pomalu v půdě rozkládá. Je to komponent, který nelze brát jako hnojivo. Není zdrojem živin ani snadněji rozložitelných organických látek. Jako další komponent se používá fermentovaná (kompostovaná) kůra. Při fermentaci se podpoří mikrobiální činnost, při teplotě 60 – 80 °C a zbaví se tak kůra, látek které by nepříznivě ovlivnili biologické procesy a růst rostlin. Dále se jako organické komponenty používají kokosová vlákna, rýžové plevy, dřevní vlákna nebo komposty (VANĚK et al., 2012)

3.4.2 Minerální komponenty

Do minerálních komponentů patří hlavně zeminy. Je vhodné je přidávat do substrátů, kde chceme docílit vyššího obsahu jílových minerálů. V substrátech pak jílové minerály zvyšují sorpční kapacitu a stabilitu vůči změnám hodnoty pH. Dále sem patří písek, který je v substrátech inertní a zvyšuje objemovou kapacitu (VANĚK et al., 2012).

3.5 Makroživiny

3.5.1 Dusík

3.5.1.1 Dusík v půdě

Celkový obsah N v půdě se pohybuje v rozmezí 0,1 až 0,2 %, pro představu je to v ornici 3000 – 6000 kg N/ha. Z celkového obsahu dusíku v půdě, je tvořeno přes 95 % dusíkem v organických sloučeninách, který je pro rostliny v této formě nedostupný. Příkladem organických sloučenin jsou rostlinné a živočišné zbytky, biomasa mikrobů a jejich metabolity, humusové látky aj. Pro rostliny je N přijatelný jako tzv. minerální dusík, který má dvě podoby N-NH₄ a N-NO₃. Minerální dusík vznikl v procesu mineralizace při přeměně již zmíněných organických sloučenin. V minerální formě je dále využit jako zdroj N pro rostliny, či pro mikroorganismy podílejících se na procesech přeměn (VANĚK et al., 2012; ALLISON, 1955; HAYNES, 1986).

3.5.1.2 Příjem dusíku rostlinami

Rostliny přijímají dusík ve formě iontů, jak aniontu (dusičnanový, nitrátový NO₃⁻), tak kationtu (amonný NH₄⁺). To, v jaké formě bude dusík přijat rostlinou ovlivňují především vnější podmínky, ale i sama rostlina.

Hlavním určujícím faktorem je hodnota pH. V kyselém prostředí, dominuje příjem nitrátové formy, v neutrálním až alkalickém prostředí se příjem obou iontů vyrovnává, či převažuje příjem amonného N. Teplota je také z jedním faktorů příjmu, pokud jsou nižší teploty sníží se příjem NO₃⁻ i využití. Dále je příjem jednotlivých forem N ovlivněn příjmem ostatních iontů a množstvím kationtů a aniontů v rostlině. Pokud poté převažuje příjem dusičnanového N, zvýší se v rostlině tvorba organických aniontů. U některých rostlin, kde dochází k vyšší akumulaci právě organických aniontů, je pak zajištěna rovnováha příjmem kationtů (K⁺, Ca²⁺ a Mg²⁺). Pokud převažuje příjem NH₄⁺, je celkově nižší příjem iontů (hlavně kationtů) (VANĚK et al., 2012; JUSTES et al., 1997).

3.5.2 Fosfor

3.5.2.1 Fosfor v půdě

Obsah fosforu v půdě kolísá od 0,01 – 0,15 %. Přestože celkové množství P v půdě může být vysoké, je často přítomen v nedostupných formách nebo ve formách, které jsou dostupné, ale již mimo rhizosféru. V půdním roztoku je fosforu tedy velmi málo. Fosfor je v půdě, jak ve formě minerální, tak organické, z čehož organický podíl tvoří 20 – 80 %. Podstatnou složkou organického fosforu je fytyl (až 50 % organ. P) (RICHARDSON, 1994).

Minimum nehojených půd uvolňuje P dostatečně rychle, proto je potřeba dodávat P, aby byla zvýšena produktivita rostlin a podpořil se rychlejší růst plodin. Problém nastává i při obnově aplikovaného fosforu do půdy rostlinami ve vegetačním období. Přes 80 % fosforu se stane pro rostliny nedostupným a imobilním, kvůli absorpci, sražení či přeměně na organickou formu.

Fosfor se v půdě pohybuje hlavně pomocí difuze, která je velmi pomalá, proto rostliny vytvářejí kolem kořenů zónu, která je o fosfor ochuzena.

Uvolňování fosforu do půdního roztoku je možné v příznivých podmínkách hlavně u vápenatých anorganických sloučenin P. Naopak sloučeniny s Al a speciálně s Fe mají velmi malou rozpustnost a převládají v kyselé půdě (HOLFORD, 1997; SCHACHTMAN et al., 1998; VANĚK et al., 2012).

3.5.2.2 Příjem fosforu rostlinami

Fosfor je přijímán rostlinou ve formě aniontů kyseliny trihydrogenfosforečné: H_2PO_4^- a HPO_4^{2-} , příjem je hlavně závislý na hodnotě pH. Nejpříznivější pH je v rozmezí od 5,5 do 7. Jedná se především o aktivní příjem (spotřeba ATP), kdy P překonává vysoký koncentrační gradient. Z toho vyplývá další faktor ovlivňující příjem fosforu – teplota. Rostliny (především teplomilné), při nízkých teplotách mohou mít málo energie pro příjem P.

Dalším základním předpokladem příjmu P je bohatá kořenová soustava. Kořeny do prostředí mohou vypouštět sekrety, aby zvýšily rozpustnost (ionty H^+ , organické kyseliny, či enzymy). Příznivá je i dostatečná vlhkost půdy (SCHACHTMAN et al., 1998; VANĚK et al., 2012).

3.5.3 Draslík

3.5.3.1 Draslík v půdě

Podíl draslíků ve většině půd se pohybuje kolem 0,5 – 3,2 %. Draslík se v půdách nachází především v minerální formě (primární a sekundární křemičitany), organické molekuly se vyskytují velmi málo. Formy K v půdě dělíme do tří kategorií: nevýměnný, výměnný a vodou rozpustný.

Jakožto nevýměnný draslík je označen K ve strukturách primárních a sekundárních minerálů. Primární minerály jsou např. živce a slídy, ze kterých se K uvolňuje v procesech zvětrávání a přechází následně do struktur sekundárních – jílových minerálů. V těchto aluminosilikátech je následně fixován uvnitř, ale může za vhodných podmínek přecházet do výměnné formy. Hlavním faktorem pro přechod do výměnné formy je vlhkost. V jílových minerálech jako je illit a vermikulit je vázán velmi pevně. V případě montmorillonitu (pokud není suché období), může K díky bobtnání přecházet do již zmíněného výměnného stavu.

Draslík, který se nachází ve výměnné formě, je kationt K^+ sorbovaný na povrchu záporně nabitých jílových minerálů (sorpční půdní komplex) a může být „vyměněn“ za jiný kationt. Tento stav je hlavní formou příjmu draslíku rostlinami a tvoří 1 – 2 % z celkového K v půdě.

Vodou rozpustný K tvoří 1 – 10 % z výměnného draslíku. Nachází se v půdním roztoku a je okamžitě přístupná živina pro rostliny. Množství v půdním roztoku je závislé na půdním druhu (sorpční kapacitě), obsahu výměnného K. Množství vodou rozpustného K by se mělo pohybovat kolem 20 mg K/l a nemělo by překračovat hodnotu 40 mg K/l. Pokud se překročí hodnota 40 mg K/l, může docházet poruše příjmu jiných kationtů. (VANĚK et al., 2012; WIKLANDER, 1950; REITMEIER, 1951)

3.5.3.2 Příjem draslíku rostlinami

Draslík je rostlinami přijímán ve formě K^+ , jedná se jak o aktivní, tak pasivní příjem. Aktivní příjem převládá, pokud je množství K^+ v půdním roztoku nižší jak 20 mg/l, pokud se obsah draslíku v půdním roztoku zvýší, začne převládat pasivní příjem.

Příjem draslíku, je kromě koncentrace v půdním roztoku ovlivněn vlhkostí, teplotou a intenzitou slunečního záření. S vyšší teplotou a půdní vlhkostí se příjem zvyšuje. Naopak s větší intenzitou slunečního záření je příjem K nižší.

Pokud se K začne hromadit v pletivech rostlin omezí tím příjem ostatních kationtů (antagonistický vztah k: Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}). V případě Na^+ je tato vlastnost žádoucí.

V rostlině je dobře pohyblivý a není pevně vázán (jen sorpčně na struktury buněk), to je jeho zvláštností. Není součástí enzymů ani jiných významných organických látek v rostlině. Tím nesplňuje jednu ze základních podmínek makroživin. Díky jeho dobré pohyblivosti je v některých případech vydáván zpět do půdy přes kořeny (VANĚK et al., 2012; PANDEY et al., 2020).

3.5.4 Vápník

3.5.4.1 Vápník v půdě

Vápník se v půdě pohybuje v širokém rozmezí od 0,15 % (kyselé půdy) až 6 % i více (karbonátové půdy). Vápník je velice významný nejen z hlediska výživového, ale také utváří prostředí pro fyzikální, chemické a biologické procesy (regulátor půdních fyzikálních a chemických vlastností).

V půdě se nachází ve třech formách jako tzv. nevýměnný, výměnný a vodou rozpustný. Jeho přístupnost pro rostliny je závislá hlavně na hodnotě pH a zároveň obsahu CO₂.

Převážná část Ca se v půdě nachází v nerozpustných sloučeninách (nevýměnné formě), jako je vápenec, dolomit a anorit. V kyseljším prostředí se rozpouští a k rozpouštění přispívá vyšší obsah CO₂, jehož množství je závislé na biologické aktivitě.

Výměnný Ca je vázaný na půdní koloidy. Jeho množství kolísá díky nasycenosti koloidů a sorpční kapacitě. Nasycení koloidů by se mělo pohybovat kolem 60 – 80 %. V lehčích půdách převažují nižší hodnoty (20 – 50 %), kvůli nízké sorpční kapacitě. Ve středních až těžkých půdách vyžadují půdy vyšší nasycenost.

V půdním roztoku je Ca nejvíce zastoupeným kationtem (Ca²⁺), vyskytuje se ale také jako Ca(HCO₃)₂, CaCl₂, Ca(NO₃)₂, CaSO₄. Vytváří dobré podmínky pro růst kořenů. Při vyšším množství nepůsobí negativně, hrozí však jeho vyplavení v humidních oblastech. Jeho pohyb je závislý na srážkách (VANĚK et al., 2012).

3.5.4.2 Příjem vápníku rostlinou

Vápník je přijímán rostlinami jako kationt Ca²⁺. Za předpokladu, že je dostatek vápníku v půdním roztoku, je jeho příjem rostlinami pasivní, přes kořenové špičky. Aktivní příjem Ca a jeho průchod membránami je omezený. Jeho příjem interferují další kationty: H⁺, NH₄⁺, Mg²⁺ a hlavně K⁺. Vápník naopak působí na příjem ostatních živin pozitivně.

Příjem Ca je dále ovlivněn vnějšími podmínkami. Při nižší vlhkosti jej rostliny přijímají více. Podobně je tomu i při nízkých teplotách, kdy je obsah Ca vyšší (VANĚK et al., 2012; MAAS, 1969).

3.5.5 Hořčík

3.5.5.1 Hořčík v půdě

Celkový obsah hořčíku v půdě je v průměru 0,4 – 0,6 %, je určen především minerálním složením matečných hornin. Většina půd má spíše nedostatek Mg, obzvláště lehké písčité a rašelinové půdy s nízkým pH. Naopak přebytek (až 10 % celkového Mg v půdě), mají půdy, kde matečnici tvoří dolomit.

Nevýměnný hořčík je podstatně hůř uvolňován v procesu zvětrávání (hlavně z vápenců), než je tomu u vápníku. Případnými zdroji hořčíku jsou minerály hadec, olivín, dále vermikulit, chlorit, amfibol, biotit a pyroxen. I v tomto případě je u většiny z minerálů proces uvolňování

obtížný. Důležitými sloučeninami pro získávání přístupného Mg jsou vedle zmíněných minerálů, karbonáty (magnezit, dolomit), jejichž rozpustnost je vyšší než u vápenců.

Při výživě rostlin je kromě Mg obsaženého v půdním roztoku, podstatný obsah výměnného hořčíku sorbovaného v sorpčním komplexu. Výměnný Mg tvoří asi 5 % z celkového zastoupení hořčíku v půdě. Rozhodující je zde vztah hlavně ke kationtu draslíku (K^+). Jejich optimální sorpce by měl být v poměru Mg : K = 3 : 1, neméně 2 : 1. Pokud je tato podmínka dodržena, jsou oba kationty dobře přijímány rostlinami.

V půdním roztoku se nachází Mg ve formě solí, které jsou dobře rozpustné – sírany, fosforečnany, chloridy a dusičnany. Množství vodorozpustného Mg se pohybuje v rozmezí 10 – 40 mg/l, což tvoří 1 – 10 % z celkového Mg v půdě. Nedostatek v půdním roztoku může být způsoben dvěma faktory. V případě lehkých půd, kde je málo vazebného místa (upřednostnění K^+ a Ca^{2+}), či u silně vápenatých půd, kde se sráží a je pak v nižších koncentracích v půdním roztoku (VANĚK et al., 2012).

3.5.5.2 Příjem hořčíku rostlinou

Hořčík je přijímán jako kationt Mg^{2+} . Převažuje pasivní příjem díky elektrochemickému gradientu, kdy kationty vyvažují převažující záporný eklektický náboj uvnitř buňky.

Příjem Mg je ovlivněn transpirací, jelikož v půdním profilu je pro hořčík snadnější horizontální pohyb, díky slabší sorpci. Další vliv na příjem hořčíku rostlinou má koncentrace jednotlivých iontů. Výrazným antagonistou je K^+ , potom NH_4^+ a v kyselém prostředí H^+ . Synergistický vztah má naopak k nitrátovému aniontu (NO_3^-) a k Fosforu. Vápník na příjem hořčíku nepůsobí negativně, jen výjimečně (MARSCHNER, 2011; VANĚK et al., 2012).

3.5.6 Síra

3.5.6.1 Síra v půdě

Obsah síry kolísá od 50 do 500 mg S/kg ve většině zemědělských půd. Nejvíce je síra zastoupena v organických sloučeninách a to až 98 % z celkové S v půdě. V půdním roztoku se síra pohybuje kolem 10 – 100 mg/kg ve formě síranu.

Organická síra je vázána ve dvou formách, v oxidované (estery s lipidy, polysacharidy, glykosinoláty) a redukované (aminokyseliny). Z oxidované formy je síra poměrně lehce uvolňovaná jejich mineralizací (enzymem sulfatázou). Jsou považovány za hlavní potenciální zdroj S pro rostliny.

Anorganickou síru představují sloučeniny síranu, jak v půdním roztoku, tak i v pevné fázi. V aerobním prostředí se síra hromadí především v síranech. Pokud je prostředí kyselé, váže se na povrch jílových minerálů (kaolinit), v alkalickém až neutrálním prostředí se pak sráží s Ca a Mg. V případě anaerobního prostředí dochází k vratné redukci na sulfidy (S^{2-}) a může dojít k chemické sorpci, kdy se sráží s Fe a Cu (VANĚK et al., 2012).

3.5.6.2 Příjem síry rostlinou

Síra je převážně přijímána z půdního roztoku jako aniont SO_4^{2-} . Rostliny jsou schopny přijímat S listy z ovzduší jako SO_2 , difuzí přes průduchy.

V případě síry jde o aktivní příjem kořeny. Příjem síry je velmi málo ovlivňován ostatními ionty a půdními vlastnostmi. Její příjem je ovlivněn pouze množstvím SO_4^{2-} v půdě (VANĚK et al. 2012).

3.6 Bazalka pravá (*Ocimum basilicum*)

Bazalka pravá je jednoletá bylina z čeledi hluchavkovitých (*Lamiaceae*), vyznačuje se vysokým obsahem aromatických silic (NIETO, 2017). Pochází z tropických oblastí Asie a Afriky, u nás se pěstuje proto jako letnička. Rostliny mají čtyřhranný stonek, vstřícné listy pokryté siličnými žlázkami a drobné bílé nebo růžové květy v závislosti na kultivaru (HILTUNEN et al., 1999).

Vhodná půda pro pěstování bazalky je hlinitopísčité s vysokým obsahem humusu (MIKEŠOVÁ et al., 2004). Zem by měla být v kyprá a provzdušněná, bazalka potřebuje půdy s vhodnými fyzikálními vlastnostmi, zvláště dobrou vodní kapacitu. Nevyhovujícími podmínkami jsou naopak zaplevelené, těžké, zamokřené a studené půdy (KŘÍKAVA et al., 1989; HILTUNEN et al., 1999; SIMON et al., 1990).

4 Metodika a materiál

V rámci této bakalářské práce byl v pokusných sklenících katedry environmentální chemie (ČZU v Praze) založen nádobový pokus s bazalkou pravou (*Ocimum Basilicum*).

Harmonogram pokusu byl následující:

- 23.6. 2020 – namíchání pokusných substrátů a předpřípravení do květináčů
- 1.7. 2020 – vysazení semen bazalky do písku na předpěstování
- 7.7. 2020 – zasazení zakořeněných sazenic bazalky (4 ks/nádobu)
- 22.7. 2020 – přihnojení pokusu dusíkem
- 12. a 14.8. 2020 – postřik proti molicím
- 27.8. 2020 – sklizeň pokusů (odběr nadzemní hmoty rostlin a vzorků substrátů).

Cílem pokusu bylo vytvoření vhodného pěstebního substrátu za pomoci kombinace fugátu, slámy a rašeliny. Hodnota pH byla upravena vápničím dolomitem. Varianty pokusu jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1: Přehled variant substrátů pro pokusy s bazalkou pravou.

č.	Typ varianty	Substrát	OH* (g/l)
1	Kontrola	Běžný pěstební substrát	327
2	Kontrola	Rašelina + 1,5 g PG MIX/l + 12 g vápenitého dolomitu/l	211
3	Testovaný substrát	Rašelina + 5 % slámy s fugátem + 12 g vápenitého 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) 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 vápničím 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 vápnitého 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 bazalky byly do nádob zasazeny po 15 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 12. a 14.8. 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 bazalky (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 (1 hod. 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 CaCl_2 v 50 ml plastových kyvetách. Po ustálení proběhlo měření výměnného pH. Metoda byla adaptována dle MINASNY et al. (2011) a je rovněž běžně používána laboratoři 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 vodným 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 Ca/Cl

Ke stanovení rychle dostupných makroprvků (kromě Ca) byl využit výluh v 0,01 mol/l CaCl_2 , 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 a nitrátového dusíku byl stanoven spektrofotometricky na přístroji

SKALAR SAN^{PLUS}SYSTEM. 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 (diethylentriaminpentaoctová 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 (SKALAR, Breda, Nizozemí). 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 vyluhovač činil 1:10 (10g zeminy, 100 ml vyluhovač). Třepání probíhalo po dobu 5 min. SYSTEM. Ve vyluzích 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 (\pm 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

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 výsledků, jsou u jednotlivých variant substrátů použity zkratky, které jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Tab. 2: Zkrácené označení variant a vstupních materiálů.

Zkratka	Substrát
R	Rašelina
FS	Fugát + sláma
RFS	Rašelina + fugát + sláma (souhrnné označení pro var. 3 – 6)
1	Univerzální substrát
2	Rašelina + 1,5 g PG MIX/l + 12 g Vápenitého dolomitu/l
3	Rašelina + 5 % Slámy s fugátem + 12 g vápenitého dolomitu/l
4	Rašelina + 10 % Slámy s fugátem + 10 g vápenitého dolomitu/l
5	Rašelina + 15 % Slámy s fugátem + 8 g vápenitého dolomitu/l
6	Rašelina + 20 % Slámy s fugátem + 6 g vápenitého dolomitu/l

5.1 Rozbory vstupních substrátů

U jednotlivých substrátů byly nejdříve provedeny vstupní rozbor, během rozboru byly stanoveny následující hodnoty: objemová hmotnost, podíl sušiny, $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ a $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ a vodivost.

Objemová hmotnost (OH), byla naměřena nejnižší u R a vzorku 2 s hodnotou (211 g/l) a nejvyšší byla zaznamenána u FS (474 g/l). Podle toho lze usoudit, že se stoupajícím podílem FS v substrátech, objemová hmotnost adekvátně rostla.

S obsahem sušiny byl pozorován opačný trend. Tam kde objemová hmotnost rostla, tudíž i podíl fugátu, sušina se snižovala a naopak. Nejnižší procento sušiny z RFS substrátů měla varianta 6 a to 30,5 %. Nejvyšších hodnot z RFS naopak dosahovala varianta 3 s pouhým 5% podílem FS a to s výsledkem 41,5 %. Rašelina nabývala celkově nejvyšších naměřených hodnot.

Přidáváním FS se také zvyšovalo i $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$. Rašelina, jak je již obecně známo se vyznačovala kyselým pH (3,7) a FS zásaditým (9,3). Tím se potvrzovala i vhodnost míchání těchto dvou složek. Je zde také jedna výjimka, a to u substrátu 6, kde došlo k poklesu hodnot pH, nejspíše z důvodu snižujícího se množství přidaného vápenitého dolomitu (ten zde rovněž sloužil ke zvýšení pH a zároveň jeho stabilizaci). Výměnné $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ vyšlo v nižších hodnotách oproti pH ve vodném výluhu, ovšem tendence vlivu variant jsou srovnatelné.

Vodivost se měří z důvodu zjištění zasolenosti substrátu. U zahradnických substrátů by naměřená vodivost neměla přesahovat 1,1 mS/cm, pokud jsou hodnoty překročeny, může dojít ke zhoršení růstu (převážně kořenového systému) rostliny, či vedou ke komplikacím s klíčením semene. FS sám o sobě tuto hladinu přesahoval, ve směsi s rašelinou však došlo ke snížení pod 1,1 mS/cm. Nejnižší vodivost byla ze substrátů RFS u varianty 3 (0,3 mS/cm) a nejvyšší u vzorku 6 (0,33 mS/cm), tyto hodnoty odpovídají i podílu přidané FS složky. U substrátu 2 byla naměřena nejvyšší vodivost v rámci všech substrátů, a to z důvodu, že zde bylo použito hnojivo PG MIX.

Z výsledných hodnot měření základních parametrů by bylo možno uvažovat i o možnosti zvýšení podílu FS v RFS substrátech.

Tab. 3: Vstupní rozbor substrátů.

Substrát	Objemová hmotnost (g/l)	Sušina substrátu (%)	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	EC (mS/cm)
R	211	50,7	3,70	2,80	0,115
FS	474	25,8	9,30	8,10	1,345
1	327	52,0	5,66	5,08	0,790
2	211	43,9	4,09	3,89	1,950
3	259	41,5	4,41	4,12	0,300
4	269	37,1	4,41	4,00	0,360
5	278	32,8	4,63	4,25	0,310
6	301	30,5	4,51	4,03	0,330

5.1.1 Stanovení okamžitě přístupných makroprvků vodným výluhem

Při stanovování hodnot okamžitě přístupných makroživin P, K, Ca, Mg a S (viz tabulka 4.) byla využita metoda vodného výluhu.

Fugát se slámou měl bohaté zastoupení jednotlivých prvků, především draslíku (10278 mg K/kg sušiny). Naopak rašelina vykazovala nejnižší obsah těchto prvků. Proto se směsi těchto dvou složek vyznačovaly ve výsledku jako vyvážené.

Obsah P a K se v případě substrátů RFS s větším podílem FS úměrně zvyšoval. Nejnižší hodnota vůbec byla zjištěna u fosforu v případě rašeliny a to 9,49 mg P/kg sušiny.

Hodnota K díky přidávání většího množství FS do substrátu rostla a byla po smíchání s rašelinou dostatečná, ale i tak bylo v univerzálním substrátu (1) zastoupení K výrazně vyšší. Substrát RFS s 20 % FS dosahoval hodnoty 472 mg K/kg sušiny a univerzální substrát 866 mg K/kg sušiny.

Množství Ca v R bylo 187 mg/kg sušiny, u FS 1969 mg/kg sušiny, vyplývá z toho, že přidaný FS v RFS substrátech mohl obsah okamžitě přístupného Ca doplňovat. V RFS substrátech byl obsah vápníku variabilní. Příčinou bylo rozdílné množství přidaného vápenitého dolomitu. Nejnižší hodnota (200 mg/kg sušiny) byla u substrátu 4 s 10 g vápenitého dolomitu/l. Nejvíce Ca (235 mg/kg sušiny) bylo naměřeno ve vzorku 5 s 8 g vápenitého dolomitu/l.

Obsah Mg ve FS (528 mg/kg sušiny), byl nepatrně vyšší, než v substrátu 2 s přidaným hnojivem (521 mg/kg sušiny). V RFS substrátech bylo množství okamžitě přístupného Mg podobné jak univerzálnímu substrátu (1) (110 mg/kg) tak i rašelině (73 mg/kg), protože RFS varianty se pohybovaly v rozmezí těchto dvou hodnot. Nejbližší univerzálnímu substrátu byl vzorek 3 se 106 mg/kg sušiny a rašelině varianta 4 s 84,2 mg/kg sušiny.

Hodnoty u okamžitě přístupného množství S v RFS substrátech byly v porovnání s univerzálním substrátem (154 mg/kg sušiny) velmi nízké a spíše se blížily obsahu S v rašelině (40,8 mg/kg sušiny). Ani přidáním FS se o tolik nenavýšily, i když zde byl vysoký obsah okamžitě přijatelné S (566 mg/kg sušiny). Nejnižší naměřená hodnota byla z RFS substrátů u varianty 4 (45,6 mg/kg sušiny) a nejvyšší u vzorku 6 (53,1 mg/kg sušiny).

Tab. 4: Obsah makroprvků v substrátu stanovený vodným výluhem (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
1	370	866	306	110	154
2	1280	1656	884	521	1048
3	51,3	207	229	106	47,3
4	83,2	279	500	84,2	45,6
5	110	382	235	92,5	51,3
6	120	472	233	86,4	53,1

5.1.2 Stanovení rychle dostupných prvků v 0,01 mol/l CaCl₂

Údaje měřené metodou výluhu v 0,01 mol/l CaCl₂, pro zjištění rychle dostupných prvků, jsou uvedeny v tabulce 5. V analýzách byly měřeny i hodnoty obsahu přístupného dusíku (N-NH₄ a N-NO₃), společně s prvky P, K, Mg a S. Naopak nebyl stanoven podíl vápníku, z důvodu Ca zastoupeného ve vyluhovacím činidle.

FS (5,86 mg N-NH₄ /kg sušiny) v porovnání s rašelinou (44 mg N-NH₄ /kg sušiny), měl velice nízké hodnoty obsahu dusíku v amonné formě. Jak u R, tak u FS byl obsah N-NO₃ velmi nízký, u R 0,99 mg/kg sušiny a v případě FS 0,33 mg/kg sušiny. V případě obou kontrolních substrátů (1 a 2) byl obsah amonného N výrazně vyšší. V univerzálním substrátu (1) bylo naměřeno 115 mg N-NH₄/kg sušiny a v rašelině s přidaným hnojivem PG MIX (2) 231 mg N-NH₄/kg sušiny. U RFS se hodnoty N-NH₄ pohybovaly v rozmezí 40,1 až 28,7 mg/kg. Čím více bylo přidaného FS, tím nižší byla hodnota v rámci RFS. U dusičnanového N se hodnoty se podobaly univerzálnímu substrátu 1 (15,8 mg/kg sušiny) a byly v rozmezí 12,8 – 23,3 mg/kg. Největší zastoupení dusičnanového dusíku bylo ve vzorku 2 s hodnotou 31,7 mg/kg.

V případě rychle dostupného fosforu se v RFS substrátech obsah P zvyšoval s vyšším procentuálním zastoupením FS. Fugát se slámou měl 253 mg/kg sušiny P a rašelina pouhých 4,8 mg/kg sušiny. Univerzální substrát (195 mg P/kg sušiny), měl o něco méně fosforu než samotný FS, a proto se RFS substráty se k této hodnotě nepřiblížily. Hodnoty v RFS substrátech rostly od 27,3 do 81,1 mg P/kg. Ve srovnání s kontrolním substrátem 2 se 706 mg P/kg, byly hodnoty u ostatních substrátů včetně FS velmi nízké.

Nejnižší množství K v rámci RFS bylo u substrátu 3, a to 514 mg K/kg sušiny. Nejvyšší hodnota (1283 mg K/kg sušiny), byla u substrátu s nejvyšším podílem FS (6). Tendence byly v případě K podobné jako u fosforu: s vyšším přidavkem FS stoupal i obsah K v substrátu.

Se zvyšujícím se obsahem FS, množství rychle přijatelného hořčíku klesalo, na rozdíl od K a P. Hodnoty Mg v RFS substrátech až na variantu 6 (775 mg/kg sušiny), přesto převyšovaly oba kontrolní substráty. Univerzální substrát dosáhl hodnoty 659 mg Mg/kg a substrát s PG MIX měl 828 mg Mg/kg. Nejvyšší zastoupení Mg ze všech vstupních substrátů bylo naměřeno ve vzorku 3 (1088 mg/kg) a nejnižší u R (560 mg/kg).

Nejvyšší zastoupení síry bylo zaznamenáno u vzorku 2 s PG MIX (709 mg/kg), tj. výrazně více než u všech ostatních substrátů. Ani v případě kontrolního US (95 mg S/kg sušiny) a RFS substrátů si hodnoty nebyli podobné. I přes vysoký podíl S v FS (453 mg/kg sušiny) činily obsahy S v RFS substrátech 30,3 až 39 mg S/kg.

Tab. 5: Obsah makroprvků v substrátu stanovený ve výluhu v 0,01 mol/l CaCl₂ (mg/kg sušiny).

Substrát	N-NH ₄	N-NO ₃	P	K	Mg	S
R	44	0,99	4,8	128	560	25,1
FS	5,86	0,33	253	13844	731	453
1	115	15,8	195	1659	659	95,1
2	231	31,7	706	1670	828	709
3	40,1	16,4	27,3	514	1088	39,0
4	38,6	17,5	41,7	731	964	30,3
5	32,3	23,3	66	1214	909	34,1
6	28,7	12,8	81,1	1283	775	33,6

5.1.3 Potencionálně přístupné makroživiny stanovené metodou CAD

Hodnoty potencionálně přístupných živin N-NH₄, N-NO₃, P, K, Mg a S byly měřeny rovněž pomocí metody CAD. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 6.

Obsahy N-NH₄ a N-NO₃ byly v RFS výrazně nižší než u kontrolních substrátů. Množství dusičnanového N bylo u kontrolních substrátů 19,6 mg/kg (1) 27,2 mg/kg (2), ale nejvyšší hodnota byla zaregistrována u rašeliny s 27,7 mg N-NO₃/kg sušiny. Amonný dusík byl ve všech substrátech (s výjimkou FS) zastoupen ve vyšší míře než N-NO₃. Nejvíce potenciálně přístupného amonného N bylo zaznamenáno v kontrolních substrátech (vzorek 1 obsahoval 216 mg/kg a vzorek 2 pak 382 mg/kg). V případě RFS substrátů, byl nejmenší podíl celkového potencionálně přístupného N u varianty 5 (N-NH₄ 31,8 mg/kg sušiny a N-NO₃ 3,57 mg/kg sušiny). Největší množství celkového N bylo u substrátu 3 (N-NH₄ 71,7 mg/kg sušiny a N-NO₃ 5,06 mg/kg sušiny).

Rašelina obsahovala ve srovnání s ostatními substráty ze všech potencionálně přístupných makroživin nejméně P a to 10,1 mg/kg sušiny. Nejvíce P bylo naopak obsaženo v kontrolním substrátu 2 (950 mg/kg sušiny). Se zvyšujícím se podílem FS stoupal i obsah P v RFS substrátech až po hodnotu 225 mg/kg u substrátu 6. Podobný trend jako u fosforu byl pozorovatelný i u draslíku. Zde byly výsledky nejpodobnější s kontrolními substráty dosaženy u variant 5 a 6, kde obsahy K činily 1308 a 2513 mg K/kg.

Nejvyšší obsah Mg byl naměřen v R 1607 mg/kg sušiny, a naopak v FS byl v porovnání s ostatními vozky nepatrný (89 mg/kg). Množství Mg v kontrolních substrátech bylo nižší jak v RFS substrátech. V RFS substrátech rostl obsah potencionálně přijatelného Mg s množstvím přidaného FS, až na substrát 6, který tuto tendenci narušil.

V případě S byly nejvyšší hodnoty naměřeny u kontrolních substrátů. Vzorek 2 s podílem S 751 mg/kg sušiny, enormně převyšoval ostatní sledované substráty. 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.

Tab. 6: Obsah potencionálně přístupných makroživin metodou CAD – CaCl₂/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	89	85,7
1	216	19,6	263	1623	1074	100
2	382	27,2	950	2101	1215	751
3	71,7	5,06	43,2	557	1283	31,2
4	65,3	3,96	79,3	860	1429	39,2
5	31,8	3,57	122	1308	1461	43,3
6	52,1	4,74	225	2513	1320	53,8

5.1.4 Potencionálně přístupné makroprvky stanovené metodou Melich 3

Metoda Melich 3 byla použita pro měření obsahu potencionálně přístupných živin P, K, Ca, Mg a S. Výsledky měření jsou uvedeny v tabulce 10.

V případě P, byl obsah v R (9,54 mg/kg sušiny) markantně nižší, než ve FS (2003 mg/kg sušiny). Vysoká hodnota P v FS se však významně neprojevila na RFS substrátech a ani se nepřiblížila k hodnotám kontrolních substrátů (vzorek 1: 309 mg/kg sušiny a vzorek 2: 818 mg/kg sušiny). V RFS substrátech s přidávaným FS rostl obsah P, až na substrát 6 (84,4 mg/kg), který tendenci narušil. Nejvyšší obsah P byl tedy v RFS u substrátu 5 s 93,2 mg P/kg sušiny a nejnižší u vzorku 3 (23,1 mg P/ kg sušiny).

V případě K byla pozorována podobná tendence, jak u obsahu P. V R byl naměřen obsah K 155 mg/kg sušiny a u FS byl obsah K největší ze vzorků, tj. 11734 mg/kg sušiny. Nejnižší obsah K z RFS substrátů byl naměřen u substrátu 3 (249 mg/kg) a nejvyšší u substrátu 5 (1061 mg/kg), který jen lehce převyšoval substrát 6 s nejvyšším podílem FS. Hodnoty K v RFS substrátech byly nižší než u kontrolních substrátů, které se pohybovaly kolem 1423 – 1471 mg K/kg sušiny.

V R byl obsah Ca 2115 mg/kg sušiny a u FS 13716 mg/kg sušiny. Obsah Ca v RFS substrátech vykazuje stejné chování jako u předchozích živin, kdy varianta 6 narušila stoupající trend obsahu Ca se stoupajícím množstvím FS. Nejvyšší obsah Ca z RFS substrátů měl vzorek 5 (3635 mg/kg) a nejnižší vzorek 3 (2145 mg/kg). Kontrolní i RFS substráty se pohybovaly v podobných hodnotách.

Obsah Mg v R byl 606 mg/kg sušiny a v FS 2399 mg/kg sušiny. V RFS substrátech byla stejná tendence chování Mg, jako u předchozích živin. Nejméně Mg v RFS substrátech (818 mg/kg sušiny) bylo naměřeno u substrátu 3, nejvíce (1401 mg/kg sušiny) u substrátu 5. Kontrolní varianty 1 a 2 měly obsah Mg v rozmezí hodnot RFS substrátů.

Obsahy S svým chováním byly částečně odlišené od předchozích makroživin. Rostoucí tendence obsahu S se zvyšujícím se FS v RFS substrátech nebyla narušena žádnou variantou. Hodnoty obsahu S v R byly 17,5 mg/kg sušiny a FS 248 mg/kg. Obsahy S v RFS rostly od 18,2 do 32,1 mg/kg sušiny a v porovnání s kontrolními substráty měly obsah S o mnohem nižší.

Tab. 7: Stanovení vybraných makroprvků metodou Melich 3 (mg/kg sušiny).

Substrát	P	K	Ca	Mg	S
R	9,54	155	2115	606	17,5
FS	2003	11734	13716	2399	248
1	390	1471	3811	1365	89
2	818	1423	2550	923	680
3	23,1	249	2145	818	18,2
4	48,3	541	2643	1021	22,8
5	93,2	1061	3635	1401	32
6	84,4	1039	3116	1102	32,1

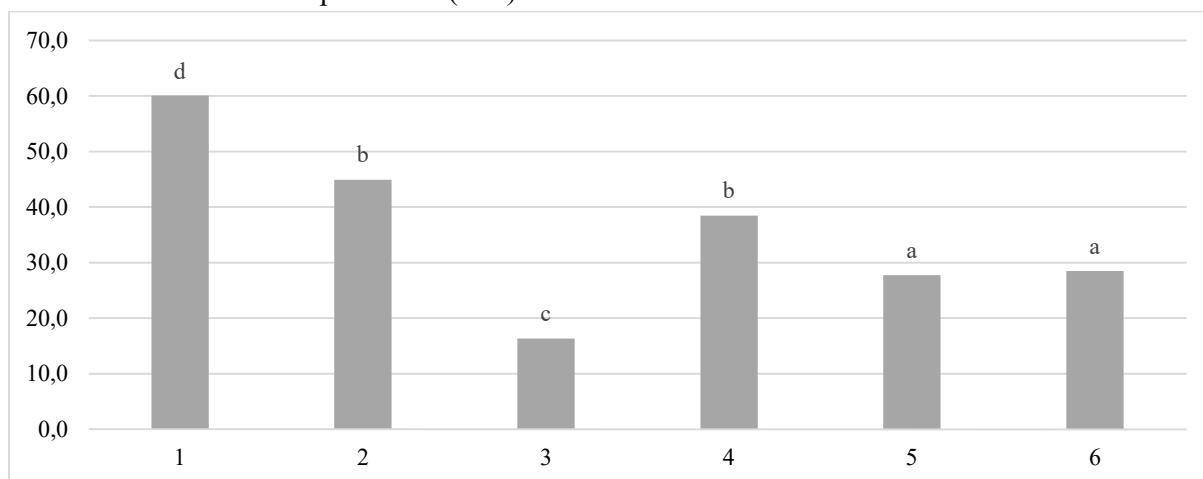
5.2 Vyhodnocení posklizňových analýz

5.2.1 Základní vlastnosti substrátů po sklizni

Každá varianta byla založena ve čtyřech opakováních, byla proto následně provedena statistická zhodnocení analýzou ANOVA. Pro určení průkazného rozdílu byl zvolen Tukey test při hladině významnosti $p < 0,01$. Průkazný rozdíl mezi variantami substrátů byl v následujících grafech a tabulkách zaznamenán rozdílnými písmeny.

V grafu 1 jsou uvedeny obsahy sušiny substrátech po sklizni pokusu. V případě RFS substrátů obsah sušiny s přidaným FS lehce stoupal. Výjimku tvořil z RFS substrátů vzorek 4, který množstvím sušiny dosáhl statisticky podobného obsahu sušiny, jak kontrolní substrát 2. Univerzální substrát (1) měl ze všech sledovaných vzorků prokazatelně nejvyšší % zastoupení sušiny (60,1 %). Obsah sušiny však byl značně ovlivněn aktuálním zalitím jednotlivých variant, a proto není vypovídající hodnota těchto výsledků významná.

Graf. 1: Sušina substrátu po sklizni (v %).



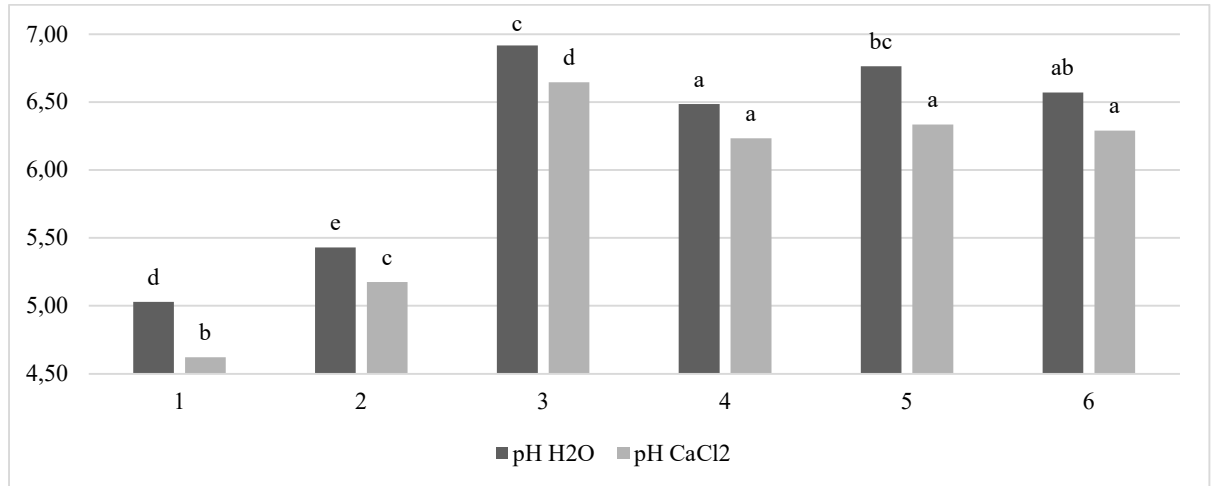
Výsledky měření pH_{H_2O} a pH_{CaCl_2} byly pro lepší přehlednost a porovnání zaneseny do grafu 2. Hodnoty pH před založením pokusu byly nižší než po sklizni, pomalu rozpustný vápník v dolomitu se v RFS substrátech časem uvolnil a pH_{CaCl_2} se zvýšilo na optimální hodnoty okolo 6,3.

Hodnoty pH_{H_2O} v RFS substrátech se pohybovaly mezi 6,49 až 6,92 a nepravidelně kolísaly. Tyto hodnoty přesahovaly limit vhodného pH pro zahradnické substráty, kde je doporučena hodnota

6. Nejnižší pH bylo naměřeno v univerzálním substrátu 1 kde $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ bylo 5,03. V kontrolním substrátu 2 byla také naměřena nižší hodnota než v RFS substrátech.

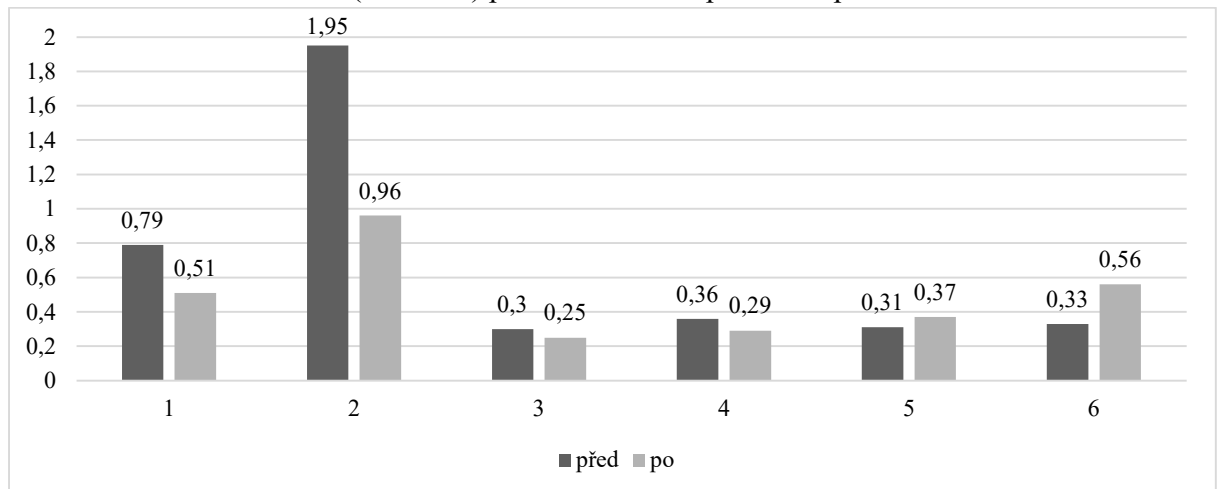
V případě výměnného $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ se hodnoty RFS substrátů pohybovaly v rozmezí 6,23 – 6,65. Nejvyšší hodnotu pH z RFS měl substrát 3, který byl dle statistického vyhodnocení odlišný od ostatních RFS variant. svou hodnotou se nejméně blížil k vhodnému pH pro zahradnické substráty. V případě kontrolních substrátů byl trend hodnot stejný jak u měření $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$

Graf 2: Porovnání $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ a $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ v substrátech po sklizni pokusu.



Vodivost (EC) se v RFS substrátech, které byly analyzovány před sklizní, pohybovala kolem hodnoty 0,3 mS/cm. RFS substráty po sklizni měly stoupající tendenci (od 0,25 do 0,56 mS/cm), jak můžeme vidět v grafu 3. V případě kontrolních substrátů se vodivost po sklizni zvýšila. Největší rozdíl byl zvláště u vzorku 2 s hnojivem PG MIX, kde hodnota stoupla o 0,99 mS/cm.

Graf 3: Srovnání vodivosti (v mS/cm) před založením a po sklizni pokusu.



5.2.2 Makroživiny v posklizňových substrátech

5.2.2.1 Stanovení makroživin metodou vodného výluhu

V tabulce 8 jsou zaznamenány hodnoty pro okamžitě přijatelné makroživiny: P, K, Ca, Mg a S, stanovené metodou vodného výluhu. Červeně označené hodnoty v následujících tabulkách, značí vyšší obsah makroživin po sklizni než před založením pokusu.

Hned na prvního pohled je vidět, že substrát 2 s PG MIX hnojivem měl (až na K) nejvyšší hodnoty u všech pozorovaných živin. Obsah všech prvků byl však nižší, než před založením pokusu.

U fosforu se obsah v RFS substrátech vůbec neblížil hodnotám naměřeným v kontrolních vzorcích (vzorek 1: 227 mg/kg sušiny, vzorek 2: 594 mg/kg sušiny). Naměřené hodnoty se RFS pohybovaly od 25,2 do 65,1 a byla zde vidět tendence zvyšujícího se obsahu P s přidáním FS. Oproti vzorkům před založením měly všechny posklizňové vzorky méně P.

Obsah K v RFS substrátech měl rostoucí tendenci od 61,3 po 646 mg/kg sušiny. Posklizňový vzorek 6 jako jediný překročil hodnoty K před založením. V kontrolních substrátech se hodnoty pohybovaly kolem 440 mg K/kg sušiny.

Hodnoty Ca v RFS substrátech byly podobné jako v univerzálním substrátu 1, množství Ca se pohybovalo v rozmezí od 357 mg/kg do 448 mg/kg. Až na vzorek 4 měly RFS substráty po sklizni vyšší hodnoty obsahu Ca než před založením. Substrát 2 dosáhl nejvyšší hodnoty ze všech měřených substrátů.

Obsah Mg byl ve všech substrátech vyšší než před založením substrátu, s výjimkou kontrolního substrátu 2. V RFS substrátech stoupající tendenci od 178 mg Mg/kg sušiny do 193 mg/kg přerušil vzorek 5. Nejvyšší zastoupení Mg bylo naměřeno v substrátu 2.

Síra v RFS substrátech neměla rostoucí tendenci, jako ostatní výše zmíněné živiny. Nejvyšší hodnoty z RFS substrátů dosáhl vzorek 4 s 62,1 mg S/kg sušiny a nejnižší substrát 6 s obsahem S 44,4 mg/kg. RFS substráty se tak nepřiblížily hodnotám kontrolních substrátů. Enormně vysoký podíl S byl oproti ostatním vzorkům zaznamenán v substrátu 2 (850 mg S/kg sušiny).

Tab. 8: Posklizňový vodný výluh (mg/kg sušiny).

Substrát	P	K	Ca	Mg	S
1	227 ^b	444 ^{ab}	432 ^a	194 ^a	190 ^b
2	594 ^c	431 ^{ab}	699 ^b	477 ^b	850 ^c
3	25,2 ^a	61,3 ^c	357 ^a	178 ^a	59,1 ^a
4	30,1 ^a	121 ^c	379 ^a	190 ^a	62,1 ^a
5	64,6 ^a	377 ^a	390 ^a	167 ^a	51,4 ^a
6	65,1 ^a	646 ^b	448 ^a	193 ^a	44,4 ^a

5.2.2.2 Stanovení makroživin pomocí výluhu v 0,01 mol/l CaCl₂

Výluhem v 0,01 mol/l CaCl₂, byly stanoveny rychle dostupné makroprvky, konkrétně: N-NH₄ a N-NO₃, P, K, Mg a S. Výsledky měření byly zaneseny do tabulky 9.

Obsah amonného N klesal s přidávkou FS, avšak statistické hodnocení nebylo možné (viz metodika). V případě dusičnanového N bylo nejvíce naměřeno u RFS substrátu 3 a nejméně u RFS substrátu 4. Kontrolní substrát s PG MIX (2) a RFS substrát 5 měly statistickou podobnost se všemi substráty. Vyšší množství dusičnanového N než při vstupních rozborech zde měly všechny RFS

substráty až na variantu 4. U RFS variant to pravděpodobně bylo zapříčiněno přihnojením dusičnanem vápenatým během pokusu.

Množství naměřeného P v RFS substrátech bylo mnohem nižší než v kontrolních substrátech, kdy největší zastoupení P bylo naměřeno u substrátu 2 (419 mg/kg). Podle statistických hodnocení RFS substráty 3 a 4 byly v nižší hodnotové škále, než vzorky 5 a 6. Nejnižší hodnota byla u substrátu 4 (13,9 mg P/kg sušina) a největší v substrátu 6 (39,3 mg P/kg sušiny). Oproti měřením před založením byl podíl P v substrátech po sklizni výrazně nižší.

V případě K byl zaznamenán vysoký skok v RFS substrátech, kdy se substráty 3 a 4 pohybovaly v hodnotách kolem 200 mg K/kg sušiny a substráty 5 a 6 překročily hodnotu 1000 mg K/kg sušiny. Kontrolní substráty byly hodnotami obsahu K mezi již zmíněnými substráty (kolem 700 mg/kg). Ani v tomto případě naměřené hodnoty nepřevyšovaly podíl K v substrátech před založením pokusu.

Hořík svým podílem ve všech případech převýšil hodnoty naměřené před sklizní. Dle statistické analýzy byly všechny substráty svými hodnotami podobné, s výjimkou vzorku 3 který měl průkazně nejvyšší obsah Mg (2256 mg/kg). RFS substráty měly rozdílné obsahy Mg a nebyla zde vidět klesající tendence hodnot díky přidávanému FS, jako tomu bylo před založením pokusu. Nejnižší hodnota byla naměřena v univerzálním substrátu 1 (762 mg Mg/kg sušiny).

Síra v RFS substrátech měla klesající tendenci od 55 po 26,4 mg/kg, až na substrát 5, který tendenci narušil. Statistická podobnost RFS byla zaznamenána pouze s kontrolním substrátem 1 (119 mg S/kg sušiny). Substrát 2 s PG MIX dosáhl statisticky průkazně vyššího obsahu S (559 mg S/kg sušiny).

Tab. 9: Posklizňový výluh v 0,01 mol/l CaCl₂ (mg/kg sušiny).

Substrát	N-NH ₄	N-NO ₃	P	K	Mg	S
1	22,3	13,6 ^a	130 ^b	706 ^b	762 ^b	119 ^a
2	46,1	29,3 ^{ab}	419 ^b	661 ^b	1215 ^{ab}	559 ^b
3	20,5	50,9 ^b	17,9 ^a	186 ^a	2256 ^c	55 ^a
4	17,3	11,7 ^a	13,9 ^a	225 ^a	1264 ^{ab}	33,8 ^a
5	14,2	37,1 ^{ab}	34,1 ^c	1089 ^c	1584 ^a	39,9 ^a
6	10,1	56,7 ^b	39,3 ^c	1314 ^c	1345 ^a	26,4 ^a

5.2.2.3 Měření potencionálně přístupných makroživin stanovených metodou CAD

V tabulce 10 jsou uvedeny obsahy posklizňových potencionálně přístupných makroživin N-NH₄ a N-NO₃, P, K, Mg, S stanovených metodou CAD.

V kontrolních substrátech byl vyšší podíl amonného N než u RFS substrátů. V případě amonného N nešla provést statistická vyhodnocení (viz metodika). Obsah amonného N s přidavkem FS klesal. U všech substrátů až na kontrolní variantu (2) byl zjištěn vyšší obsah dusičnanového N, než při vstupních rozbořech. Nejvíce bylo naměřeno N-NO₃ v RFS substrátu 6 a nejméně ve variantě 4.

Průkazně nižší hodnoty P, vykazovaly RFS substráty oproti kontrolním. Nejnižší hodnota v RFS substrátech byla u vzorku 4 (36,7 mg P/kg) a nejvyšší u substrátu 6 (118,8 mg P/kg).

Obsah K v RFS substrátech 5 a 6 byl průkazně vyšší než v substrátech 3 a 4. Substráty 5 a 6 navíc obsahem K převyšovaly i hodnoty naměřené před založením. Vzorky 3 a 4 měly naopak

celkově nejnižší obsahy K kolem 400 mg/kg. Kontrolní substráty dosahovaly hodnot kolem 1300 mg K/kg sušiny.

Hořčík dosahoval celkově vysokých hodnot. Největší podíl Mg byl zaznamenán u substrátu 3 (7571 mg/kg) a nejnižší u kontrolního substrátu 1 (2191 mg/kg). Hořčík všemi naměřenými hodnotami převyšoval hodnoty zaznamenané před založením pokusu.

Síra stejně jako obsah Mg, převyšovala po sklizni výsledky ve vstupních rozborech substrátů. RFS substráty se nejvíc přiblížili svými hodnotami k univerzálnímu substrátu. V substrátu 2 s PG MIX byl nejvyšší podíl S (1347 mg/kg). Nejnižší hodnota u RFS byla u substrátu 6 (58,9 mg S/kg sušiny) a nejvyšší u vzorku 3 (131 mg/kg).

Tab. 10: Posklizňové stanovení potencionálně přístupných makroprvků metodou CAD – CaCl₂/DTPA (mg/kg sušiny).

Substrát	N-NH ₄	N-NO ₃	P	K	Mg	S
1	35	19,8 ^a	317 ^b	1306 ^{ab}	2191 ^b	230 ^b
2	66,3	26,1 ^{ab}	1002 ^c	1301 ^{ab}	3908 ^a	1347 ^c
3	30,9	43,5 ^{ab}	48,4 ^a	431 ^a	7571 ^c	131 ^{ab}
4	25,4	17,8 ^a	36,7 ^a	391 ^a	3864 ^a	84,2 ^{ab}
5	19,5	28,8 ^{ab}	111,3 ^a	1909 ^c	5131 ^a	88,4 ^{ab}
6	15,4	51,1 ^b	118,8 ^a	2611 ^c	4503 ^a	58,9 ^a

5.2.2.4 Stanovení potencionálně přístupných makroprvků metodou Melich 3

V tabulce 11 jsou uvedeny obsahy P, K, Ca, Mg a S v substrátech po sklizni stanovené metodou Melich 3.

Při statistickém hodnocení množství P bylo zjištěno, že RFS substráty vykazovaly průkazně nižší hodnoty než kontrolní. RFS substráty byly vyhodnoceny jako statisticky podobné a měly zároveň stoupající tendenci hodnot od 8,34 po 44,4 mg P/kg sušiny.

Obsah K v RFS substrátech 5 a 6 byl podobný kontrolním, ostatní RFS substráty měly nižší hodnoty K. Substrát 6 byl jediný, který měl větší podíl K než vstupní substrát.

V případě Ca bylo dosaženo statistické podobnosti téměř u všech substrátů. Jen substrát 3 vykazoval průkazně nižší obsah Ca ve srovnání s variantami 4 – 6. Oproti vstupním substrátům bylo dosaženo vyšších hodnot ve všech případech.

Podobně jako u Ca bylo i u Mg dosaženo vyšších hodnot než u vstupních substrátů. Všechny varianty až na substrát 1 byly statisticky vyhodnoceny jako podobné, kdy: univerzální substrát obsahoval nejméně Mg ze všech měřených vzorků.

V případě síry byly hodnoty v RFS substrátech klesající, což je opačný trend než u vstupních. Statisticky byla nalezena podobnost všech substrátů až na substrát s PG MIX (2), kde byla naměřena prokazatelně vyšší hodnota.

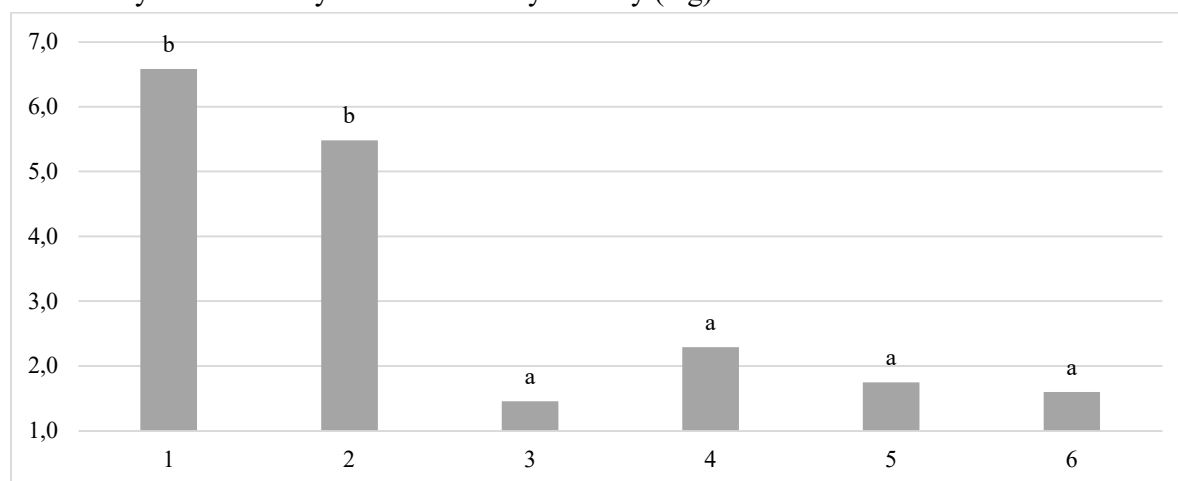
Tab. 11: Obsahy vybraných makroprvků stanovených metodou Melich 3 v substrátech po sklizni pokusů (mg/kg sušiny).

Substrát	P	K	Ca	Mg	S
1	230 ^b	786 ^{ab}	4008 ^{ab}	1474 ^b	110 ^a
2	580 ^c	634 ^a	4004 ^{ab}	2447 ^a	660 ^b
3	8,34 ^a	126 ^c	3386 ^b	2225 ^a	37,9 ^a
4	17,3 ^a	263 ^{cd}	4850 ^a	2500 ^a	36,1 ^a
5	36,6 ^a	748 ^{ab}	4799 ^a	2268 ^a	24,5 ^a
6	44,4 ^a	1058 ^b	4765 ^a	2049 ^a	18,3 ^a

5.2.3 Makroživiny v rostlinách

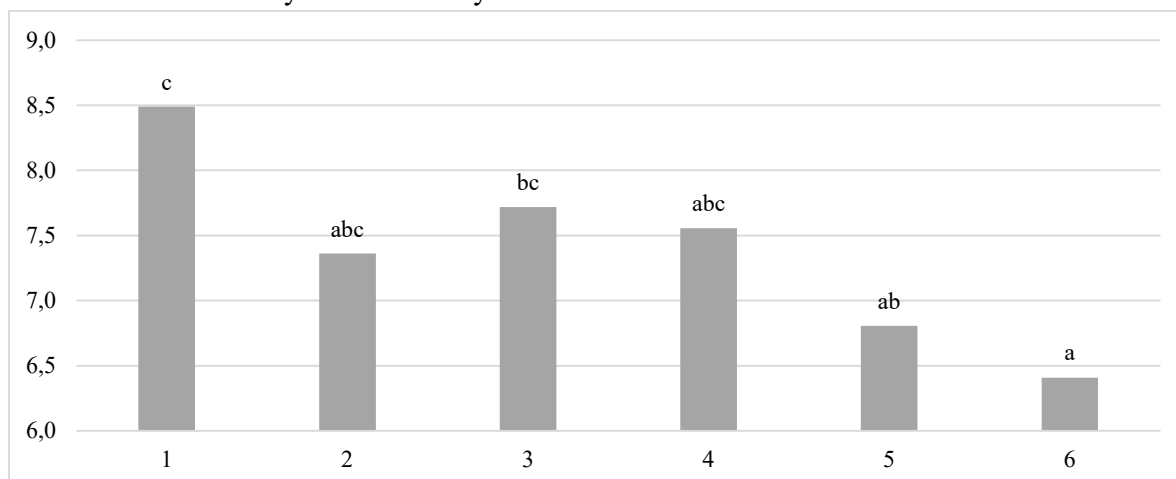
Největší výnos sušiny nadzemní hmoty byl zjištěn u kontrolních substrátů, konkrétně u univerzálního substrátu 1 (6,6 g), jak je znázorněno v grafu 4. Podobných výsledků se nepodařilo dosáhnout u RFS substrátů. Nejvyššího výnosu zde dosáhl substrát 4 (2,3 g).

Graf 4: Výnosnost sušiny nadzemní hmoty bazalky (v g).



Graf 6 znázorňuje % sušiny rostlin bazalky. Průkazně nejvyšší % sušiny rostlin měla varianta univerzální substrát. Kontrolní substrát 2 s PG MIX hnojivem vykazoval statistickou podobnost s variantami 1, 3, 4 a 5. Nejnižší hodnota byla vypočtena pro variantu 6.

Graf 5: Procento sušiny rostlin bazalky.



5.2.3.1 Obsahy prvků v sušině nadzemní hmoty rostlin

V tabulce 12 jsou zaneseny obsahy jednotlivých makroživin v nadzemní hmotě rostlin.

Nejvyšší obsah N byl naměřen v kontrolním vzorku 2 s PG MIX. Z RFS substrátů měly statisticky nejbližší k univerzálnímu substrátu 1, vzorky 5 a 6. Nejnižší hodnota byla naměřena u RFS substrátu 3.

Dle statistických hodnocení byly nejvyšší obsahy P v sušině rostlin v kontrolních substrátech, a to v hodnotách kolem 0,85 % P. Průkazně menší hodnoty byly naměřeny ve statisticky vzájemně podobných substrátech 5 a 6. Průkazně nejnižší hodnoty pak byly zjištěny v substrátech 3 a 4. RFS substráty měly rostoucí tendenci obsahu P od 0,20 do 0,57 % P sušiny rostlin.

Nejvyšší obsah K byl u RFS substrátu 6 (7,49 %) a nejnižší u RFS substrátu 3 (4,99 %). Hodnoty kontrolních substrátů se pohybovaly v rozmezí výsledků RFS substrátů 4 a 5.

Obsah vápníku v sušině rostlin byl ve všech RFS substrátech vyšší než v kontrolních substrátech. Statistická podobnost byla vyhodnocena mezi kontrolním substrátem 1 a všemi RFS substráty. Průkazně nejnižší obsah Ca byl zjištěn u varianty 2.

V případě Mg byla dosažena statistická podobnost téměř u všech substrátů, až na průkazně nejvyšší hodnotu u varianty 4.

Průkazně nejvyšší obsah S v sušině rostliny byl naměřen v kontrolním substrátu 2. Statistická podobnost byla dosažena mezi kontrolní variantou 1 a všemi RFS substráty.

Tab. 12: Obsahy prvků v sušině nadzemní hmoty rostlin (%).

Substrát	N	P	K	Ca	Mg	S
1	3,13 ^b	0,85 ^c	6,72 ^a	1,83 ^a	0,50 ^a	0,21 ^a
2	4,06 ^c	0,85 ^c	6,39 ^a	1,33 ^b	0,51 ^a	0,49 ^b
3	2,36 ^a	0,20 ^a	4,99 ^b	2,01 ^a	0,49 ^a	0,26 ^a
4	2,56 ^a	0,28 ^a	6,27 ^{ab}	1,96 ^a	0,65 ^b	0,22 ^a
5	2,88 ^{ab}	0,52 ^b	6,91 ^a	1,86 ^a	0,54 ^a	0,21 ^a
6	3,41 ^b	0,57 ^b	7,49 ^a	1,86 ^a	0,49 ^a	0,23 ^a

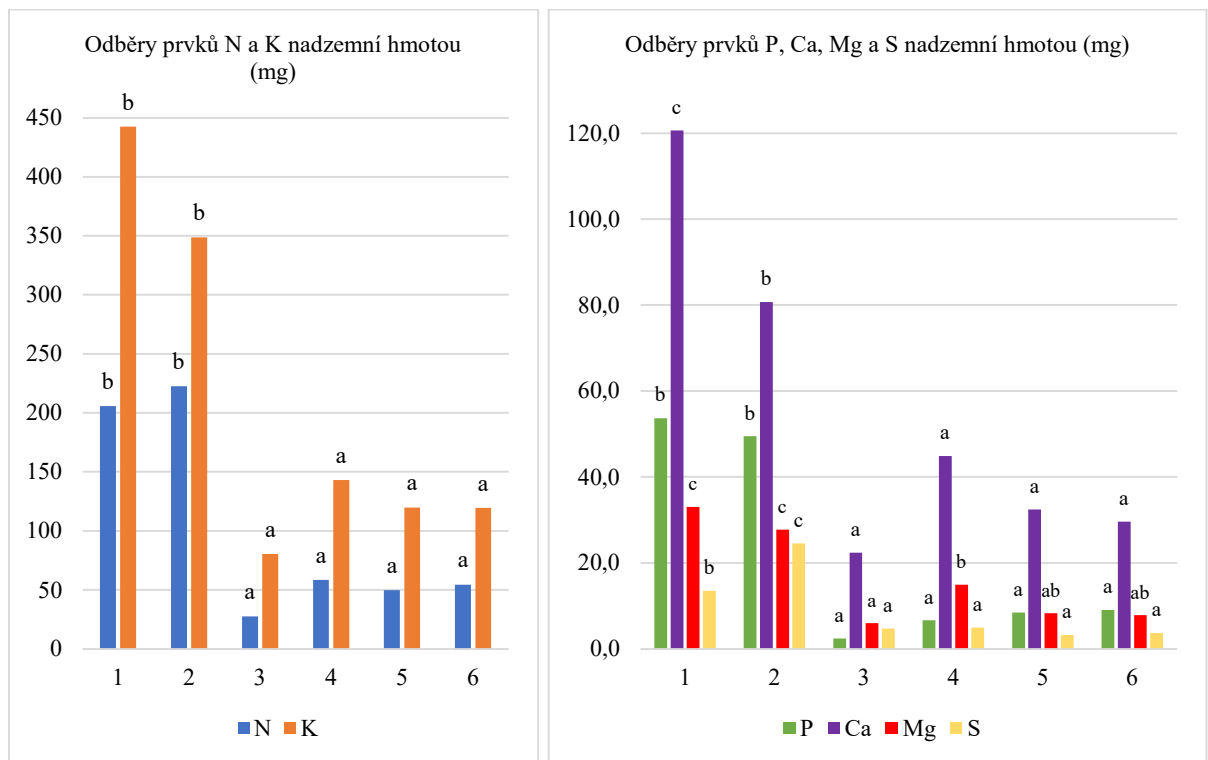
5.2.3.2 Odběry prvků nadzemní hmotou rostlin

V grafu 6 (a, b) jsou zaznamenány hodnoty odběru prvků nadzemní hmotou rostlin bazalky. Grafy byly odděleny kvůli výrazným rozdílům v obsahu jednotlivých prvků.

Z grafů lze vyčíst, že největší množství všech živin bylo odebíráno rostlinami pěstovanými v univerzálním substrátu 1, až na S – ta byla nejvíce odbírána variantou 2.

V RFS substrátech bylo dosaženo vzájemné statistické podobnosti téměř u všech prvků a ve všech variantách. Naopak u kontrolních substrátů byly hodnoty ve srovnání s RFS substráty vždy průkazně vyšší.

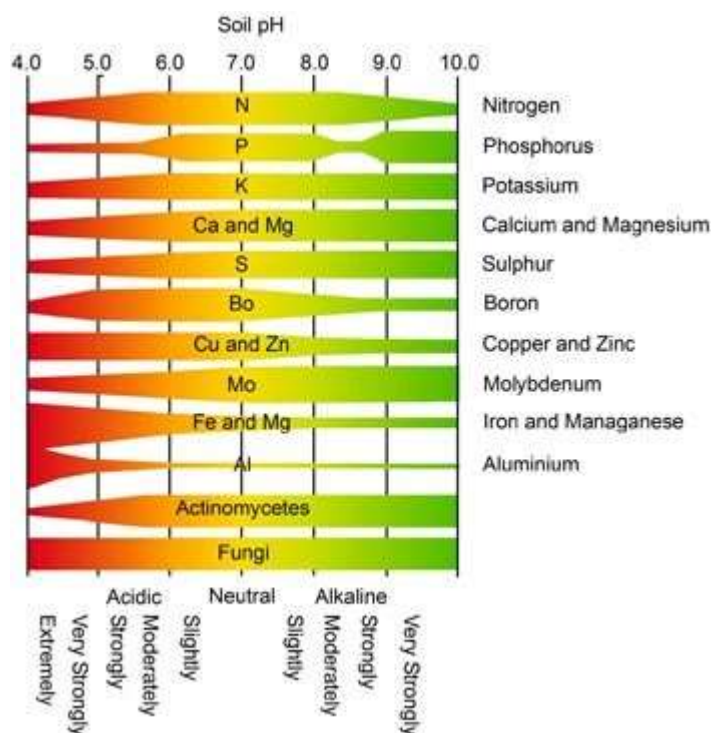
Graf 6 (a, b): Odběry makroprvků nadzemní hmotou rostlin (mg).



6 Diskuse

Úkolem této studie bylo ověřit, zdali je možné využít směsi fugátu se slámou jako zdroje makroživin pro pěstování bazalky pravé (*Ocimum basilicum*). Zároveň zjistit vliv této směsi na výnos nadzemní biomasy, dále obsah a odběr makroživin rostlinou. Měření byla také provedena ve dvou kontrolních běžně používaných substrátech a cílem bylo dosáhnout srovnatelných či lepších výsledků. Tento pokus probíhal současně s další studií, která byla zaměřena na mikroelementy.

Příjem živin ovlivňuje především pH substrátu. Cílem je vyhnout se extrémním hodnotám pH. Při velmi nízkých hodnotách se tvoří těžce rozpustné sloučeniny, a podmínky nejsou příznivé pro rozpustnost a přijatelnost P, Ca a Mg, jak můžeme vidět na obrázku 2. Navíc se zvyšuje příjem potenciálně nebezpečných prvků. Při velmi vysokém pH je také nižší přijatelnost většiny živin. (VANĚK et al., 2012). MÖLLER a MÜLLER (2012) uvádějí, že hodnota pH digestátu se pohybuje v rozmezí 7,3 - 9. V případě digestátu z bioplynové stanice z Krásné Hory nad Vltavou jsme naměřili hodnotu pH 9,3. Díky kyselému pH rašeliny 3,7 a naopak zásaditému FS, bylo smíchání těchto dvou substrátů vhodné. Ve vstupních rozborech bylo naměřeno u RFS substrátů $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ kolem 4,5. I když byl zde přidán vápenitý dolomit, na vstupních měřeních se to z důvodu jeho pomalé rozpustnosti neprojevovalo. Hodnota $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ stoupla až v posklizňových měřeních, kde dosáhla hodnot od 6,49 do 6,92. Tyto hodnoty (pH kolem 6,5) v minerálních půdách jsou vhodné pro příjem živin, v půdách s vyšším podílem organických látek by mělo být pH 5,8 (VANĚK et al., 2012). V případě běžných zahradních substrátů se pH pohybuje mezi 5,5 až 6,5. Ve srovnání s $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ se k hodnoty vstupních substrátů pohybovaly v rozmezí 4 – 4,25 a posklizňové 6,23 – 6,65.



Obr. 2: Dostupnost živin v závislosti na pH (WINDISH, 2017).

Vodivost (EC) byla u všech posklizňových variant nižší než před založením pokusu, až na dvě poslední výjimky v RFS substrátech 5 a 6, kdy byla vyšší. Usuzujeme z toho, že uvolněné živiny byly rostlinami do jisté míry spotřebovány a soli se tedy v substrátu nehromadily. Vhodná

vodivost substrátů pro rostliny se středními nebo vyššími nároky na živiny se pohybuje v rozmezí 0,2 – 0,65 mS/cm (ŠRÁMEK et. al, 2014). Toto optimum posklizňové RFS substráty splňovaly, stoupaly od hodnoty 0,25 po 0,56 mS/cm.

Dusík ve formě $N-NH_4^+$ a $N-NO_3^-$, byl měřen v posklizňových substrátech metodou výluhu v 0,01 mol/l $CaCl_2$ a metodou CAD. Byl zaznamenán rozdíl v obsahu nitrátového dusíku, který byl v testovaných substrátech více zastoupen, než amonný. Substrát 4 s 10 % fugátu se slámou naopak obsahoval vyšší podíl amonného dusíku. Je to z důvodu, že většina dusíku po anaerobní fermentaci přechází do formy amonné, což potvrdil KOLÁŘ (2009) ve svém pokusu měření obsahů minerálních a organických látek ve směsích kalu z čistíren odpadních vod a kejdy před a po anaerobní digesci. V kontrolních substrátech tomu bylo podobně, jako u varianty 4. Ve vstupních rozborech měl fugát se slámou jen malé množství celkového N. Z důvodu nedostatečného množství dusíku v RFS substrátech vykazovaly rostliny jeho nedostatek. Muselo proto dojít k jeho doplnění ve formě dusičnanu vápenatého. Podle VAŇKA et al. (2012), by se měl obsah přijatelného dusíku v pěstebních substrátech pohybovat od 150 do 240 mg/kg. Amonný dusík v RFS substrátech se v měřeních po sklizni metodou výluhu v 0,01 mol/l $CaCl_2$ pohyboval v rozmezí 10,1 – 20,5 mg/kg a v dusičnanové formě byl v hodnotách mezi 11,7 – 56,7 mg/kg. V případě měření metodou CAD se amonný dusík pohyboval v rozmezí od 15,4 do 30,9 mg/kg a dusičnanový od 17,8 do 51,1 mg/kg. Jeho celkový obsah tedy nebyl pro rostliny v dostačujícím množství ani s přidaným dusičnanem amonným, jak nám vyplývá z obou měření.

Obsah fosforu v posklizňových RFS substrátech, měřený ve vodném výluhu byl v hodnotách 25,2 – 65,1 mg/kg. Ve výluhu 0,01 mol/l $CaCl_2$ byl fosfor naměřen v rozmezí od 13,9 do 39,3 mg/kg. Metodou CAD se P pohyboval v rozmezí od 36,7 po 118,8 mg/kg a analýzou Melich 3 byl obsah fosforu od 8,34 do 44,4 mg/kg. Podle VAŇKA et al. (2012), by měl obsah přijatelného fosforu v běžných pěstebních substrátech dosahovat hodnot 40 až 120 mg P/kg substrátu. Z čehož vidíme, že se ve zmíněných hodnotách RFS substráty pohybovaly. Naopak vyšších hodnot dosahovaly kontrolní substráty, kde kupříkladu nejnižší hodnota byla naměřena u substrátu 1 (130 mg/kg) v metodě výluhu v 0,01 mol/l $CaCl_2$.

V případě sledovaných RFS substrátů, byl obsah draslíku naměřen ve vodném výluhu v hodnotách od 61,3 až 646 mg/kg. Metodou výluhu v 0,01 mol/l $CaCl_2$ se obsah K pohyboval v rozmezí 186 – 1314 mg/kg. Analýzou CAD byl zjištěn obsah K od 391 do 2611 mg/kg. Metodou Melich 3 bylo naměřeno 126 – 1058 mg K/kg. Obsah přijatelného draslíku se u běžných pěstebních substrátů pohybuje v rozmezí 124 – 340 mg/kg substrátu (VANĚK et al., 2012), ve všech měřeních byl těmto hodnotám vždy nejbližší substrát 4 a občasně substrát 3.

Vápník byl měřen v posklizňových substrátech jen metodou vodného výluhu a metodou Melich 3. V první metodě se obsah Ca v RFS substrátech pohyboval v rozmezí 357 až 448 mg/kg a v metodě Melich 3 byl naměřen obsah v rozmezí 3386 – 4850. Optimální množství přijatelného Ca v běžných pěstebních substrátech je kolem 1000 – 2800 mg/kg, větší množství však nepůsobí negativně (VANĚK et al., 2012). Proto se dá obsah Ca naměřený v substrátech považovat za optimální.

Jak uvádí BARAMPOUTI et al. (2020), celkové množství hořčíku ve fugátu by se mělo pohybovat 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. V případě RFS substrátů byl ve vodném výluhu po sklizni naměřen obsah Mg 167 – 193 mg/kg. Dále pak metodou výluhu v 0,01 mol/l $CaCl_2$ se obsah hořčíku pohyboval v rozmezí 1264 – 2256 mg/l. V měřeních CAD dosáhl hodnot od 4503 do 7571 mg/kg. V měřeních obsahu Mg metodou Melich 3 bylo naměřeno rozmezí 2049 – 2500 mg/kg. Obsah přijatelného Mg v běžných pěstebních substrátech je 75 – 100 mg/kg jak

uvádí VANĚK et al. (2012). Obsah přijatelného Mg byl v RFS více než je optimum v pěstebních substrátech. Zároveň jak uvádí VANĚK et al. (2012) je množství celkového Mg v půdě průměrně v rozmezí 4000 – 6000 mg/kg. Těchto podobných hodnot bylo dosaženo v metodě CAD. Z toho nám vyplývá, že množství potencionálně přijatelného Mg dosahovalo, a i převyšovalo hodnoty celkového Mg v půdě. Zdrojem Mg byl hlavně vápenitý dolomit. Díky výsledným hodnotám pH a obsahům Ca a Mg, by bylo možné uvažovat o snížení dávek vápenitého dolomitu.

Obsah síry, jak uvádí VANĚK et al. (2012), na většině zemědělských půd kolísá v rozsahu 50 až 500 mg S/kg. Po sklizni u RFS substrátů se obsah okamžitě přijatelné síry měřené ve vodném výluhu pohyboval mezi 44,4 – 62,1 mg/kg. Obsah síry ve výluhu 0,01 mol/l CaCl₂ byl v rozmezí od 26,4 do 50 mg/kg. Metodou CAD byl zjištěn obsah potencionálně přístupné S v rozmezí 58,9 – 131 mg/kg. Obsah S metodou Melich 3 byl naměřen v rozmezí 18,3 – 37,9 mg/kg. Obsah S v RFS substrátech v porovnání s kontrolními byl velmi nízký, ve všech provedených analýzách.

Výnosy sušiny v RFS substrátech byly mnohem nižší než v kontrolních substrátech a zároveň bylo naměřeno menší množství sušiny po sklizni než před sklizní. Z toho vyplývá, že RFS substráty neměly ideální vlastnosti pro pěstování bazalky jako kontrolní substráty, které měly vyšší výnosnost.

V případě procentického obsahu sušiny rostlin v RFS substrátech byla podobnost s kontrolními substráty. RFS varianty 4 a 5 měly větší výnosnost sušiny než kontrolní substrát (2) s PG MIX. Nejvyšší hodnoty ze všech však dosáhl univerzální substrát (1).

Při hodnocení obsahu prvků v sušině, bylo zjištěno že nejméně obsahu N a P bylo naměřeno v RFS substrátech v porovnání s kontrolními substráty. V případě ostatních makroelementů byly zjištěny podobné hodnoty mezi kontrolními a RFS substráty.

Množství dusíku v substrátu souvisí s následným množstvím dusíku v rostlině. Dusík (jak v amonné, tak dusičnanové formě), byl už ve vstupních rozborech v RFS substrátech v menším množství než v kontrolních substrátech. I jeho odběr rostlinou byl zaznamenán v nízkých hodnotách. S odběry ostatních živin to bylo podobně u všech RFS variant substrátů, byly velmi nízké a nedosahovaly hodnot kontrolních substrátů.

7 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vyhodnotit vlastnosti substrátů složených z rašeliny, fugátu se slámou a vápenitého dolomitu. Záměrem bylo najít nejvhodnější kombinace těchto materiálu z hlediska pH hodnoty a obsahu přístupných makroprvků pro pěstování bazalky (*Ocimum basilicum*). RFS substráty byly hodnoceny a porovnávány se dvěma kontrolními substráty – univerzální substrát a bílá rašelina s přísádkem PG MIX hnojiva.

Předpoklad pro dosažení optimální hodnoty pH byl docílen přísádkem fugátu se slámou a vápenitého dolomitu do rašeliny. Došlo k postupnému uvolňování dolomitického vápence, které nejspíše způsobilo postupné zvýšení pH v posklizňových substrátech.

Po sklizni byly zjištěny obsahy přístupných makroprvků v jednotlivých substrátech. Makroprvky vykazovaly většinou vyšší hodnoty, než byly změřeny ve vstupních rozborech. Nižší hodnoty byly u vzorků po sklizni naměřeny u amonného N, ve všech provedených analýzách. V případě P a K jen v některých metodách.

Největší výnos sušiny nadzemní hmoty byl zjištěn u kontrolních substrátů, konkrétně u univerzálního substrátu 1 (6,6 g), jak je znázorněno v grafu 4. Podobných výsledků nebylo dosaženo u žádného z RFS substrátů. Z RFS substrátů měl největší výnosnost substrát 4, který měl i ze všech RFS substrátů nejvyšší odběr všech živin (kromě fosforu).

I přes vhodné základní podmínky jako jsou pH a vodivost, nebyly výnosy rostlin v RFS substrátech adekvátní k výnosům rostlin v běžných pěstebních substrátech. Důvodem nejspíše byl nízký obsah N, již na začátku vegetace. Včasným hnojením by mohlo být docíleno lepších výsledků.

8 Literatura

ALBURQUERQUE, J.A., FUENTE, C., FERRER-COSTA, A., CARRASCO, L., CEGARRA, J., ABAD, M., BERNAL, P. 2012. Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agroindustrial residues. *Biomass and Bioenergy* 40: 181-189.

ALLISON, F. E. 1955.: *The Enigma of Soil Nitrogen Balance Sheets*. Beltsville, Maryland: U. S. Department of Agriculture. ISBN 9780120007073.

ALTMANN, V., VACULÍK, P., MIMRA, M. 2010. *Technika pro zpracování komunálního odpadu*, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 120 s., ISBN 978-80-213-2022-2.

AUTERSKÁ, P. 2010.: *Problematika zápachu na bioplynových stanicích*, *Biom.cz* [online]. 26.7. 2010 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/problematika-zapachu-na-bioplynovych-stanicich>. ISSN: 1801-2655.

BAČÍK, O. 2008.: *Bioplynové stanice: technologie celonárodního významu*. *Biom.cz* [online]. 14.1. 2008 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovy-technologie-celonarodniho-vyznamu>. ISSN: 1801-2655.

BADALÍKOVÁ, B.; NOVOTNÁ, J. 2018.: *Změny fyzikálních vlastností půdy po aplikaci digestátu*. *Zemědělský výzkum, spol. s r. o. Troubsko* [online]. 29.1. 2018 [cit. 2022-03-04]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/vyziva-a-stimulace/hnojeni/zmeny-fyzikalnich-vlastnosti-pudy-po-aplikaci-digestatu>.

BARAMPOUTI, E.M.; MAI, S.; MALAMIS D. et al. 2020.: *Exploring technological alternatives of nutrient recovery from digestate as a secondary resource*. *Sciencedirect.com* [online]. 24. 9. 2020 [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120306675?via%3Dihub>. ISSN 1364-0321.

BILÍK, J.; BLÁHA, A.; BUREŠ, J.; DLOUHÝ, T. et al. 2010.: *Odpad je nevyčerpatelný zdroj energie*. *Odpadové fórum*, Praha, 2010, 19 s. ISBN 978-80-85990-15-7.

BIOPROFIT. 2007.: *Anaerobní technologie*. BIOPROFIT s.r.o., www.bioprofit.cz [online] 2007. [cit. 2021-03-16]. Dostupné z: http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm.

EXCEL. Microsoft Office Excel 2007. Microsoft office Enterprise 2007. USA. release SP2.

HOLFORD, I. C. R. 1997.: *Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants*. *Australian Journal of Soil Research*. CSIRO Publishing. ISSN 0004-9573.

HOUBA, V. J. G.; NOVOZAMSKY, I.; LEXMOND T. M.; VAN DER LEE, J. J. 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.

HAYNES, R. J. 1986.: *Mineral Nitrogen In The Plant-Soil System*. Academic Press, INC. ISBN 978-0-12-334910-1.

HILTUNEN, R.; HOLM, Y. 1999: *Basil: The Genus Ocimum*. Harwood Academic Publishers, Amsterdam. ISBN 90-5702-432-2.

JEŘÁBKOVÁ, J.; DUFFKOVÁ, R. 2019: Využití digestátu jako hnojiva. *Biom.cz* [online]. 21. 06. 2019 [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-digestatu-jako-hnojiva>. ISSN: 1801-2655.

JUSTES E., JEUFFROY M. H., MARY B. 1997.: *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*. Springer, Berlin, Heidelberg. ISBN 978-3642645068.

KÁRA, J.; PASTOREK, Z.; PŘIBYL, E., HANZLÍKOVÁ, I.; ANDERT, D. et al. 2007.: *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. VÚZT Praha – Ruzyně. ISBN 978-80-86884-28-8.

KASAL, P.; SVOBODOVÁ, A.; VACEK, J. et al. 2016.: *Užití digestátu zemědělských bioplynových stanic ke hnojení brambor: certifikovaná metodika*. Havlíčkův Brod: Výzkumný ústav bramborářský Havlíčkův Brod. ISBN 978-80-86940-67-0.

KOLÁŘ, L. 2009.: Agrochemická hodnota organické hmoty odpadů z fermentorů při výrobě bioplynu. *Biom.cz* [online]. 06. 05. 2009 [cit. 2015-02-18]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/agrochemicka-hodnota-organicke-hmoty-odpadu-z-fermentoru-pri-vybere-bioplynu>. ISSN: 1801-2655.

KRATOCHVÍLOVÁ, Z.; HABART, J.; SLADKÝ, V.; JELÍNEK, F.; ROSENBERG, T. et al. 2009.: *Průvodce výrobou a využitím bioplynu*. CZ Biom – Praha, 157 s. ISBN 978-80-903777-5-2.

KŘÍKAVA, J.; PETŘÍKOVÁ, K. 1989.: *Speciální rostliny: pěstování kořenových, léčivých a aromatických rostlin*. 1. vyd. Brno: Vysoká škola zemědělská. ISBN 80-7157-084-2.

LOŠÁK, T.; HLUŠEK, J. et al. 2007.: *Produkce okrasných rostlin II. – Vybrané poznatky o výživě a substrátech*. Lednice na Moravě, srpen 2007: sborník přednášek z odborného semináře. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. ISBN 978-807375-085-5.

LUSCOMBE, P. C.; SYERS, J. K.; GREGG, P. E. H. 1979.: Water extraction as a soil testing procedure for phosphate. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 10, 1361-1369.

MAKÁDI, M.; TOMÓCSIK, A.; OROSZ, V. 2012.: *Digestate: A New Nutrient Source – Review*. In: KUMAR S. (ed.). *Biogas*. InTech. ISBN 9789535102045.

MARSCHNER, H. 2011: Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London, UK. ISBN 978-0-12-384905-2.

MAAS, E. V. 1969.: Calcium Uptake by Excised Maize Roots and Interactions With Alkali Cations. *Plant Physiology*, Volume 44, Issue 7, July 1969. Dostupné z: <https://academic.oup.com/plphys/article/44/7/985/6093823?login=true>.

MATĚJKA, J.; CIAHOTNÝ, K.; KAJAN, M.; DOHÁNYOS, J.; KAMARÁD, L. et al. 2010.: Strategická výzkumná agenda v oboru bioplyn. Česká bioplynová asociace – České Budějovice, 118 s.

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

MIKEŠOVÁ, I.; LUTOVSKÁ, M. 2004.: Léčivé rostliny: o sběru a pěstování. Praha: Dokořán. ISBN 80-86569-68-3.

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.

MÖLLER, K.; MÜLLER, T. 2012: Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences*. doi: 10.1002/elsc.201100085.

MOTLÍK, J., VÁŇA, J. 2002.: Biomasa pro energii (1) Zdroje. *Biom.cz* [online] 2002. [cit. 2021-04-06]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-energii-1-zdroje>. ISSN: 1801-2655.

NIETO, G. 2017: Biological Activities of Three Essential Oils of the Lamiaceae Family. *Medicines*, Basel. doi: 10.3390/medicines4030063.

PANDEY, G. K.; MAHIWAL, S. 2020.: Role of Potassium in Plants. Springer Nature Switzerland AG. ISBN 978-3-030-45952-9.

REITMEIER, R. F. 1951.: Soil Potassium. *Advances in Agronomy*, Academic Press, Volume 3. ISBN 9780120007035.

RICHARDSON, A. E. 1994.: Soil Microorganisms and Phosphorus Availability. Pankhurst, C.E., Gupta, V.V. and Grace, P.R., Eds., *Soil Biota Management in Sustainable Farming Systems*, CSIRO, Australia.

SCHACHTMAN, D. P.; REID, R. J.; AYLING, S. M. 1998.: Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell. *Plant Physiology*. Dostupné z: <https://academic.oup.com/plphys/article/116/2/447/6085629>.

- SIMON, J.E.; QUINN, J.; MURRAY, R. 1990.: Basil: A source of essential oils. Protland, OR: Timber Press. Dostupné z: <https://hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1990/V1-484.html>.
- STARKA, F.; DOHÁNYOS, M. 2003.: Bioplyn: [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]. Říčany: GAS, 517 s. ISBN 80-7328-029-9.
- STATSOFT. 2017. Statistica. StatSoft Inc. 1984-2013 s.r.o. ver. 12 Praha. Česká republika.
- ŠRÁMEK, F.; DUBSKÝ, M. 2014.: 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 z: https://www.vukoz.cz/dokumenty/053/metodika_stresni_substraty.pdf.
- ŠVEHLA, P., TLUSTOŠ, P., BALÍK, J. 2004.: Odpadní vody. V Praze: Česká zemědělská univerzita, katedra agrochemie a výživy rostlin. ISBN 80-213-1169-X.
- TAMBONE, F.; SCAGLIA, B.; D'IMPORZANO, G.; SCHIEVANO, A. et al. 2010: Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost. Chemosphere. Volume 81, Issue 5, journal homepage: www.elsevier.com/locate/chemosphere.
- VANĚK, V.; BALÍK, J., ČERNÝ, J. et al.: Výživa zahradních rostlin. V Praze: Academia, 2012. ISBN 978-80-200-2147-2.
- VÁŇA, J. 2010.: Bioplynové stanice na využití bioodpadů. Biom.cz [online]. 10. 5. 2010 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stanice-na-vyuziti-bioodpadu>. ISSN: 1801-2655.
- VÍTĚZ, T.; GERŠL, M. et al. 2013.: Mineralogicko-chemická charakteristika fermentačních zbytků při výrobě bioplynu a možnosti jejich využití pro zlepšení vlastností půd. Mendelova Univerzita v Brně. Dostupné z: https://eagri.cz/public/web/file/325087/MZE_fermentacni_zbytek_final_2013.pdf.
- WIKLANDER, L. 1950.: Fixation of potassium by clays saturated with different cations. Soil Science: April 1950, Volume 69, Issue 4.
- WINDISH, B. 2017.: Soil pH and Lime: How Lime Affects your Soil. Fairwaygreeninc.com [online]. 06. 03. 2017 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: <https://www.fairwaygreeninc.com/soil-ph-lime-lime-affects-soil/>.

8.1 Legislativa

Ministerstvo životního prostředí. 2014. Vyhláška č. 131 ze dne 3. července 2014, kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů, a vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv zařazuje digestát mezi organická hnojiva. Sbírka zákonů České republiky, 2014. Česká republika.

Parlament České republiky. 1998. Zákon č. 156 ze dne 12. června 1998, o hnojivech, pomocných půdních látkách, rostlinných biostimulantech a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech). Sbírka zákonů České republiky, 1998. Česká republika.

Parlament České republiky. 2020. Zákon č. 541 ze dne 1. prosince 2020, o odpadech. Sbírka zákonů České republiky, 1998. Česká republika.