

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Pěstování bazalky v substrátech s podílem kapalné složky
digestátu – hodnocení koloběhu mikroprvků**

Bakalářská práce

Autor práce: Martina Zachovská

Obor studia: Zahradní a krajinářské úpravy

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

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Pěstování bazalky v substrátech s podílem kapalně složky digestátu – hodnocení koloběhu mikroprvků" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22.04.2022

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala doc., Ing. Martinu Kulhánkovi, Ph.D. vedoucímu mé bakalářské práce, za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi pomohly zpracovat tuto bakalářskou práci. Také bych ráda poděkovala celé své rodině za podporu po celou dobu studia.

Pěstování bazalky v substrátech s podílem kapalné složky digestátu – hodnocení koloběhu mikroprvků

Souhrn

V poslední době, s růstem počtu bioplynových stanic dochází k větší produkci digestátu, jakožto vedlejšího produktu. Digestát a jeho pevná složka separát, je využívána především pro hnojení zemědělských půd. Kapalnou složku – fugát, lze využít jako hnojivo, avšak jeho vliv na zlepšení půdních vlastností není jednoznačný.

Cílem této práce bylo vytvořit pěstební substrát z fugátu, slámy a rašeliny a dosáhnout tak srovnatelných výsledků s běžně používanými pěstebními substráty, a to z hlediska výnosu, pH a obsahu přístupných mikroelementů v substrátu i nadzemní hmotě rostlin.

V pokusných sklenících byl založen nádobový pokus s bazalkou pravou (*Ocimum basilicum*), kde byly připraveny kombinace rašelinových substrátů s různými podíly fugátu se slámou (5, 10, 15, 20 % → RFS5 – RFS20) a vápnitého dolomitu. Jako kontroly byly použity 1) běžný pěstební substrát a 2) minerálně hnojená rašelina. Byly měřeny základní parametry substrátu, jako je objemová hmotnost, pH a vodivost. Vstupní a posklizňové vzorky substrátů byly na obsah mikroelementů analyzovány následujícími metodami: vodným výluhem, výluhy 0,01 mol/l CaCl₂, CAD a Mehlich 3. Po sklizni pokusu byly provedeny analýzy nadzemní části bazalky na obsah mikroprvků, dále změřeny výnosy rostlin z jednotlivých variant a následně dopočteny odběry mikroelementů.

Přidání fugátu a vápnitého dolomitu do RFS substrátů vedlo k postupnému zvýšení pH, které bylo po sklizni pokusu v substrátech optimální.

Nejvhodnější kombinace z RFS substrátů byla z hlediska výnosu sušiny varianta RFS10, přestože obsahovala nejméně mikroprvků. Výnosy běžných kontrolních substrátů však byly prokazatelně vyšší. Variantu RFS10 následovaly varianty RFS15, RFS20 a RFS5.

Nižší výnos sušiny RFS substrátů způsobil pravděpodobně deficit nebo přebytek některého z makroprvků. Příjem některých mikroprvků mohl být negativně ovlivněn vysokým množstvím amonného dusíku, který se ve fugátu nachází. Přidání fugátu se slámou do rašeliny jako zdroje přístupných mikroprvků se tedy ve většině případů ukázalo jako vhodné řešení.

Klíčová slova: Bazalka; Pěstební substrát; Rašelina; Fugát; Mikroelementy; Bioplynové stanice

Growing of basil in substrates with liquid phase of digestate - micronutrients cycle evaluation

Summary

Recently, with the growth of the number of biogas plants, there is a greater production of digestate as a by-product. Digestate and its solid component separate is used primarily for fertilizing of agricultural soils. The liquid component - fugate, can be used as a fertilizer, but its effect on improving soil properties is not clear.

The aim of this work was to create a growing substrate from fugate, straw and peat and thus achieve comparable results with commonly used growing substrates, in terms of yield, pH and content of bioavailable microelements in the substrate and above-ground biomass of plants.

A pot experiment with basil (*Ocimum basilicum*) was established in the experimental greenhouses, where combinations of peat substrates with different proportions of fugate with straw (5, 10, 15, 20 % → RFS5 – RFS20) and dolomitic limestone were compared with two control treatments (commonly used growing substrate and mineral fertilized peat). Basic substrate parameters such as bulk density, dry matter percentage in substrates, active and exchange pH and conductivity were measured. Input and post-harvest samples of substrates were analyzed for the content of microelements by the following methods: water extraction, extractions with 0.01 mol/l CaCl₂, CAD and Mehlich 3, respective. Furthermore, the content of micronutrients in plant tissues and basil yield. According to this, the uptake of microelements was calculated.

The addition of fugate and dolomitic limestone to the RFS substrates led to a gradual increase in pH, which was optimal in the substrates after the experiment harvest.

The most suitable combination (among the RFS substrates) was the RFS10 variant in terms of dry matter yield, although it contained the least microelements. However, the yields of control substrates were significantly higher. The RFS10 variant yield was followed by the RFS15, RFS20 and RFS5 variants.

The lower dry matter yield of RFS substrates probably caused a deficit or surplus of some of the macroelements. The uptake of some microelements could be adversely affected by the high amount of ammonium nitrogen present in the product.

Thus, the addition of fugate with straw to peat as a source of accessible microelements proved to be a suitable solution in most of the studied cases.

Keywords: Basil; Growing medium; Peat; Fugat; Microelements; Biogas stations

Obsah

| | |
|--|-----------|
| 1 Úvod | 8 |
| 2 Vědecká hypotéza | 9 |
| 3 Cíl práce | 9 |
| 4 Literární řešerše | 10 |
| 4.1 Bioplynové stanice | 10 |
| 4.1.1 Charakteristika bioplynových stanic..... | 10 |
| 4.1.2 Rozdělení bioplynových stanic | 11 |
| 4.2 Fermentační zbytky | 12 |
| 4.2.1 Digestát..... | 12 |
| 4.2.2 Separát..... | 14 |
| 4.2.3 Fugát | 14 |
| 4.3 Substráty pro výživu zahradních rostlin | 14 |
| 4.3.1 Organický podíl..... | 15 |
| 4.3.2 Minerální podíl | 16 |
| 4.3.3 Meliorační komponenty | 17 |
| 4.4 Minerální výživa rostlin | 17 |
| 5 Metodika | 20 |
| 5.1 Provedené analýzy | 21 |
| 5.2 Stanovení hodnoty pH a vodivosti | 21 |
| 5.3 Stanovení obsahu okamžitě přístupných mikroprvků vodným výluhem | 21 |
| 5.5 Stanovení potenciálně přístupných mikroprvků metodou CAD | 22 |
| 5.6 Stanovení vybraných mikroprvků metodou Mehlich 3 | 22 |
| 5.7 Analýzy rostlin | 22 |
| 5.8 Zpracování výsledků | 22 |
| 6 Výsledky | 23 |
| 6.1 Předběžné hodnocení substrátů | 23 |
| 6.2 Výsledky analýz po sklizni pokusu | 27 |
| 7 Diskuze | 33 |
| 8 Závěr | 37 |
| 9 Literatura | 38 |

1 Úvod

Největší podíl odpadů vznikajících v zemědělské výrobě představují exkrementy hospodářských zvířat a zbytky rostlin. Nejstarší a technicky nejjednodušší formou nakládání s těmito odpady je jejich přímá aplikace na půdu. V případě správného agrotechnického postupu jde o maximální využití hnojivých účinků. Z důvodu častých lokálních přebytků těchto odpadů však není možné plné využití jejich hnojivých účinků, a někdy je třeba i jejich likvidace. Řízená anaerobní fermentace organické hmoty v bioplynových stanicích je v dnešní době stále aktuální téma a je třeba se dále zabývat tímto způsobem zpracování odpadů. Nicméně digestát z bioplynových stanic se v poslední době stává problematickým hnojivem. Ukazuje se, že pozitivní vliv jeho aplikace na zemědělské půdy je nejednoznačný, proto je zapotřebí hledat různé alternativy jeho využití.

Jednou z možností je separace digestátu na pevnou (separát) a kapalnou složku (fugát). Využití digestátu v zemědělství je vnímáno jako problematické, protože podle mnohých studií působí jako slabé minerální hnojivo s nedostatečným množstvím lehce rozložitelné organické hmoty. Ve směsi s rašelinou se tyto dvě složky díky svým vlastnostem jeví jako vhodné řešení pro využití v pěstebních substrátech.

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

Na téma odpadních složek z bioplynových stanic bylo napsáno několik prací, avšak na širší využití fugátu existuje jen omezené množství zdrojů, proto jsem si zvolila téma práce související s touto problematikou.

2 Vědecká hypotéza

Přidání kapalné složky digestátu (fugátu) do rašeliny zvýší její hodnotu pH a zároveň doplní mikroprvky potřebné pro růst bazalky pravé.

3 Cíl práce

Pomocí fugátu, slámy a rašeliny vytvořit pěstební substrát srovnatelný s běžně používanými pěstebními substráty, a to z hlediska výnosu, pH a obsahu přístupných mikroelementů v substrátu i nadzemní hmotě rostlin.

4 Literární rešerše

4.1 Bioplynové stanice

V souvislosti s udržitelnějším zacházením k životnímu prostředí je výroba energie z bioplynových stanic nepostradatelným článkem současné doby a bude stále významnějším zdrojem obnovitelné energie. Zejména proces anaerobní fermentace je posuzován za jednu z energeticky nejúčinnějších technologií při výrobě bioplynu. Při dobrém managementu dodávek surovin, odběru energie, bioplynu, i digestátu, je životní prostředí zatěžkáno jen z velmi malé části (Jeřábková et Duffková, 2019).

4.1.1 Charakteristika bioplynových stanic

Bioplynové stanice, dále jen BPS, jsou zdrojem obnovitelné energie a substrátů. Dochází v nich k transformaci energie nahromaděné v organické hmotě rostlin, exkrementech hospodářských zvířat nebo v organických odpadech. Jejich hlavním produktem je energeticky bohatý bioplyn, který je využíván jako zdroj energie a tepla (Tlustoš et al., 2014). Jde o plynou směs, která vzniká anaerobní fermentací vlhkých organických látek v umělých technických zařízeních (např. reaktory, digestory, laguny se zařízením na jímání bioplynu), (Kára et al., 2007). Zdroj Kára et al., (2007) uvádí, že by bylo dobré, kdyby se bioplyn skládal z pouze dvou majoritních plynů – metanu (CH_4) a oxidu uhličitého (CO_2). Avšak realita je taková, že surový bioplyn obsahuje i jiné minoritní plyny. Ty mohou naznačovat výskyt některých chemických prvků v materiálu či poruch anaerobní digesce (AD), (Kára et al., 2007).

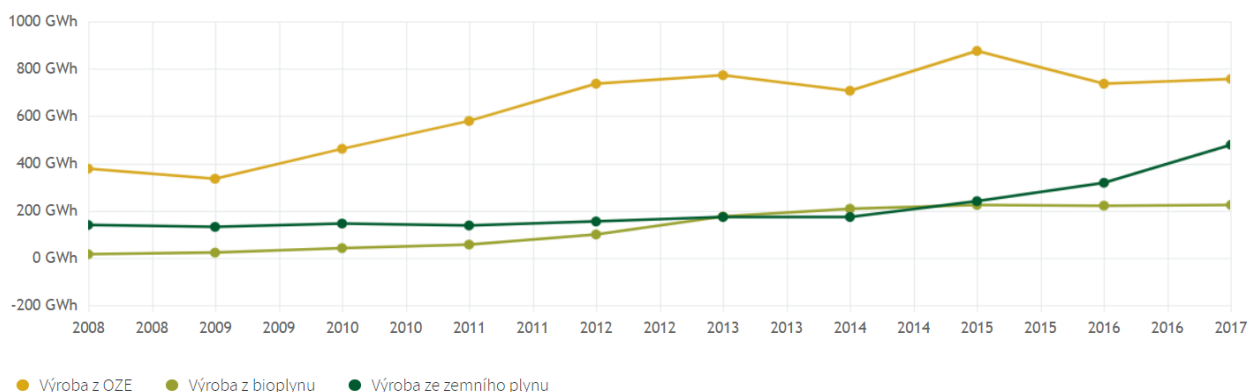
Vedlejším produktem BPS vzniká po AD bez přístupu vzduchu zbytkový digestát, který je využíván jako hnojivo na zemědělskou půdu (Tlustoš et al., 2014). Tento proces je vhodný především kvůli nízké spotřebě skleníkových plynů (Holm-Nielsen et al., 2009) a zmírňuje potenciál globálního oteplování a změny klimatu (Carlsson et al., 2015).

Na rozdíl od kompostáren, které zpracovávají pouze hygienicky nezávadný bioodpad a vytváří tak cenné organické hnojivo, v BPS se zpracovávají i odpady pro kompostování nevhodné. Především to jsou prošlé potraviny ze supermarketů, vytríděný komunální bioodpad a odpady z restaurací a jídelen. Inspirací nám mohou být města jako například Oslo, Berlín, Hamburk či Vídeň. Energie v podobě biometanu (BioCNG) je zde často používána jako palivo pro městské autobusy nebo nákladní vozidla městských služeb. Navíc nevhodné zacházení s bioodpady způsobuje problémy. Pokud je uložen na skládky odpadu, způsobuje průsak znečišťujících látek do podzemních vod a emise skleníkového plynu metanu (Roman, 2019).

S přijetím Zákona č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (OZE), nastal rozvoj bioplynového odvětví pro ČR. Byly stanoveny výkupní ceny a benefity na výrobu elektřiny z OZE. Se snížením či zánikem investiční i provozní podpory, související s přijetím zákona č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, se intenzivní růst instalací od roku 2014 velmi zpomalil (Matějka et al., 2017).

Poslední měření a sčítání BPS proběhlo ke dni 31.12.2019 s výsledným počtem 574 stanic, s celkovým instalovaným výkonem 367 MW, z toho je vyrobeno 2526 GWh elektřiny a podíl bioplynu na OZE činil 22,9 %. Graf č. 1 udává meziroční srovnání výroby bioplynu.

Graf č. 1: Meziroční srovnání výroby bioplynu od roku 2008 do roku 2017 v měsících leden (CZBA, 2019)



4.1.2 Rozdělení bioplynových stanic

Z hlediska vstupních materiálů jsou BPS rozděleny na následující typy:

- zemědělské
- komunální
- průmyslové
- skládkový plyn
- čistírny odpadních vod (ČOV).

Nejvíce jsou v České republice zastoupeny stanice zemědělské. Těch čítá Česká bioplynová asociace 394 a tvoří až 68% podíl z celkového počtu BPS. Nejméně najdeme komunálních, a to pouze 9 (CZBA, 2019).

Je třeba využívat i jiné substráty než jen cíleně pěstovanou fytomasu, kterou zemědělské BPS zpracovávají nejvíce. Přibližně 9 % z celkové plochy zemědělské půdy tvoří pěstovaná biomasa pro plynná biopaliva, tj. 390 tis. ha. Tou je hojně zastoupená kukuřice, řepa, travní senáž či vojtěška. Kromě cíleně pěstované biomasy jsou pro zpracování vhodné i organické odpadní materiály především z agroindustriální oblasti či z jiných průmyslových odvětví (Dohányos et al., 2011).

Jako některé příklady uvádí Dohányos et al., (2011):

- materiál živočišného původu (exkrementy z chovu hospodářských zvířat – hnůj, kejda, podestýlka aj.)
- materiál rostlinného původu (rostlinné zbytky ze zemědělství, lihovarnické výpalky, bioodpady z údržby zeleně-tráva, listí, údržba zahrad aj.)
- potravinářský průmysl (mláto aj.)
- ostatní průmysl (zpracování papíru a celulózy aj.)
- ostatní biologicky rozložitelné odpady (zbytky ze stravoven aj.)
- kaly z ČOV.

V zemědělských BPS není povoleno zpracovávat odpady dle Zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech a jiných materiálech, které řadíme do nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002 o vedlejších živočišných produktech (Švec et al., 2010).

Komunální BPS využívají odpady z údržby zeleně, domácností či zahrad, prošlé potraviny a bioodpady z potravinářství nebo supermarketů, zbytků z jídelen a gastro provozů.

V průmyslových BPS vždy záleží na průmyslu, který dodává odpady. Nejčastěji se jedná o pivovary, lihovary, sladovny, konzervárny, droždárny, cukrovary atd. (Tlustoš et al., 2014).

4.2 Fermentační zbytky

V posledních letech s množstvím cíleně pěstované biomasy pro výrobu bioplynu dochází při anaerobní fermentaci organické hmoty ke zvyšování velkého množství odpadních materiálů, nazývaných digestát. Digestát je směsí rozpustných a stabilních živin, označovaných jako fugát (kapalná frakce) a nerozloženého organického materiálu nazývaného separát neboli pevná fáze digestátu (Dubský et al., 2019).

4.2.1 Digestát

Hnojení digestátem znamená pro zemědělce finanční úsporu z hlediska náhrady minerálních hnojiv, nejvíce dusíku. Ačkoliv je obsah rozložitelného uhlíku redukován, digestát obsahuje vhodné prekurzory huminových látek. Budování BPS, a s tím spojená aplikace digestátu, tak přispívá k udržitelnosti zemědělství a venkova (Marada et al., 2008).

Většina (80 - 90 %) surovin, které projdou anaerobní digestací, končí jako digestát. Avšak jeho fyzikálně-chemické složení představuje velké výkyvy a je regulováno vstupní surovinou a provozními podmínkami AD. Očekává se, že zemědělství bude hrát klíčovou roli ve snaze zajistit bezpečnost v potravinovém dodavatelském řetězci. Veškeré úsilí by však mělo být vynaloženo bez jakéhokoliv ohrožení životního prostředí. V této souvislosti je zhodnocení digestátu jako sekundárního zdroje živin slibnou možností využití, která může poskytnout dvojitý přínos: a) uzavření smyčky v procesu bioplynu AD nalezením konečného využití výsledného digestátu a b) recyklace živin, které zemědělský sektor velmi potřebuje. Vzhledem k jeho vlastnostem je běžnou praxí přímá aplikace na půdu. Dalším využitím může být například kompostování, sušení či termochemické ošetření (Barampouti et al., 2020).

Manyi-Loh et al., (2019) uvádí, že hlavní překážkou ke kompostování tuhé frakce digestátu je nízký poměr C : N a biologická rozložitelnost spolu s vysokou vlhkostí, proto je zapotřebí obohatit digestát vhodnými kypřícími materiály zajišťujícími provzdušnění (např. sláma, štěpka apod.) (Barampouti et al., 2020).

Digestáty dělíme dle použitých surovin na typové a netypové. Typové bývají výstupem ze zemědělských BPS (Tlustoš et al., 2014) a jsou formulovány dle vyhlášky č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva jako typová organická hnojiva (typ 18.1.e), která jsou vyrobena výhradně ze statkových hnojiv a objemných krmiv anaerobní fermentací. Přičemž musí obsahovat minimálně 25 % spalitelných látek v sušině a nejméně 0,6 % N v sušině (Tlustoš et al., 2014). Typový digestát určený pro použití na vlastních pozemcích výrobce nevyžaduje ohlášení ani registraci. Kdežto digestát určený k uvedení do oběhu ohlášení vyžaduje a musí splňovat parametry uvedené v Tab. č. 1 (ÚKZÚZ, 2016).

Tab. č. 1: Rozdělení typových digestátů (ÚKZÚZ, 2016)

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

O netypové digestáty se jedná v případě, kdy při jejich výrobě byly použity jiné vstupní suroviny, zejména odpady (Tlustoš et al., 2014). Registrace je nutná jak v případě aplikace na vlastní pozemky, tak k uvedení do oběhu (ÚKZÚZ, 2016).

Mezi neodmyslitelné výhody zpracování digestátu oproti ostatním statkovým hnojivům, uvádí autoři (Dostál et Richter, 2008; Váňa, 2009; Jeřábková et Duffková, 2019) především:

- zřetelnou eliminaci zápachu
- možnosti účinného odvodnění
- eliminace skleníkových plynů
- snížený obsah patogenů až o 90 %
- omezení klíčivosti semen či plevelů
- snížení žíravého účinku surové kejdy na plodiny
- uchování žádoucích forem organického uhlíku (prekurzory humusových látek) a živin (P, K, N).

Složení digestátu a jeho chemické i fyzikální vlastnosti se liší dle vstupní suroviny, která je zpracována pro anaerobní fermentaci. Různé materiály mají různý poměr C : N. Proto BPS mohou produkovat materiál s různými obsahy makroživin i mikroživin. Stěžejní jsou také podmínky a doba fermentace (Dubský et al., 2019).

Nejčastějším oddělením tuhé fáze digestátu od kapalné je tzv. mechanická separace. To se děje přes odstředivky a kalolisy. Druhým způsobem je membránová separace, kde tento proces probíhá přes membránu - ultrafiltraci či mikrofiltraci (Tlustoš et al., 2014).

Studie projektu zadaného Evropskou komisí uvádí, že pokud jde o digestát, analýza signalizuje, že se v EU vyrobí přibližně 180 milionů tun digestátu ročně. Téměř polovinu z toho pokrývá německá produkce. Digestát pochází ze 2/3 ze zemědělských plodin a zbytků smíšeného tuhého komunálního odpadu. Z čistírenských kalů přibližně 1,7 milionů tun ročně. Převážná většina digestátu se používá jako hnojivo (Kreißig et al., 2019).

Za dostatečnou produkci organické hmoty se dá považovat od 1 až 2 DJ (dobyččích jednotek) na ha. Stav v České republice v roce 2019 byl 0,3 až 0,4 DJ a bylo vyprodukováno přibližně 7,5 milionů tun digestátu za rok. V roce 2030 je navýšení odhadováno na cca 11 milionů tun. Z tohoto lze usuzovat, že produkce digestátu navyšuje potřebnou produkci organické hmoty o cca 0,1 DJ na ha. Podle plánovaného vývoje výroby bioplynu by se mohla produkce digestátu v roce 2030 rovnat 0,13 DJ na ha. Avšak to zřetelně zvyšuje současnou produkci statkových hnojiv od hospodářských zvířat a těch je s přihlédnutím na hnojení organickými hnojivy nedostatek (Jeřábková et Duffková, 2019).

4.2.2 Separát

Separát tvoří tuhá nerozložená frakce organických látek. Vlákniťa struktura separátu a stabilita organické hmoty příznivě ovlivňují fyzikální vlastnosti půdy, upravují poměr vody ku vzduchu a představují vhodné vlastnosti pro rostlinnou výrobu. Separát má vyšší obsah sušiny (cca 25 - 30 %) (Crippa et al., 2013) a také 2× více obohacuje půdu o fosfor (P) a hořčík (Mg) než digestát (Duffková et Mühlbachová, 2016).

Kromě přímé aplikace na půdu lze separát také kompostovat. Je to způsob, jak zlepšit kvalitu suroviny, snížit zápach a koncentrace těkavých sloučenin, vlhkost a potenciální fytotoxicitu. Kompostovaný může být použit v okrasných školkách jako náhrada za rašelinu pro pěstování hrnkových rostlin (Crippa et al., 2013).

Dalším možným způsobem využití separátu může být i jako stavební materiál, či se dá sušit a použít jako palivo, uvádí Vítěž, (2013). Frischmann, (2012) tvrdí, že jako stavební materiál se využívá popel ze spalování, který může být použit při stavbě silnic, nebo pro výrobu betonu.

4.2.3 Fugát

Kapalnou složku v digestátu představuje fugát. Ten při aplikaci na půdu dosahuje obdobných výnosů jako při použití minerálních hnojiv. Oproti tomu separát má podobný efekt jako hnůj a půdu zásobuje organickými látkami (Nkoa, 2014; Duffková et Mühlbachová, 2016). Vyznačuje se nižším obsahem sušiny, fosforu a organického uhlíku než separát, avšak je bohatší na amonný dusík i draslík (Barampouti et al., 2020). Kvůli nižšímu poměru C : N je doporučována aplikace s posklizňovými zbytky, např. slámou. Jeho pH se pohybuje v rozmezí 7-9, což je způsobeno především vyšším obsahem amonného dusíku. Fugát je vhodný k aplikaci na kyselé až neutrální půdy. Stejně jako u digestátu a separátu je nejčastější přímá aplikace na půdu. Dalším využitím může být recirkulace do procesu, membránové technologie či ČOV (Vítěž, 2013). Po odvodnění digestátu lze fugát částečně recyklovat v BPS nebo může být vypouštěn do čistírny odpadních vod, avšak nikoliv do vodních toků (Dostál et Richter, 2008).

4.3 Substráty pro výživu zahradních rostlin

Dle ČSN 83 9001 je substrát definován jako uměle připravená směs z organických a anorganických komponentů s vhodnými biologickými a fyzikálně chemickými vlastnostmi, které jsou vhodné pro správný růst a vývoj rostlin.

Pěstební substráty nejsou pro rostliny hlavním zdrojem živin a tvoří tak zvláštní skupinu převážně organických materiálů, jež nemají typický charakter hnojiv. Jsou to de facto pěstební média, která využíváme na přípravu pěstebních záhonů i do pěstebních nádob. Převážně jde o směsi, skládající se z organických materiálů a zeminy nebo jsou do směsi přidány i meliorační látky jako pemza, perlit, bentonit aj. Jejich cílem je i ve zhoršeném prostředí zajistit dobré podmínky pro růst a vývoj rostlin (Vaněk et al., 2012).

Lea-Cox et Smith, (1997) tvrdí, že substráty by měly hlavně napodobovat podmínky pro růst rostlin v jejich přirozených lokalitách. Není tedy možné vyrobit jediný univerzální substrát pro všechny druhy. Proto je žádoucí vybrat vhodnou kombinaci složek tak, aby vzniklo vhodné prostředí pro rostlinu (Bedrna, 1989).

Dle Soukupa et al., (1979) byly nejčastěji připravovány dvě základní zemité směsi, jejichž mísením získáme směs středně těžkou.

Směsi těžké s převahou minerálních zemin. Složené ze: 3 dílů kompostované zeminy, 1 dílu drnovky či těžké zeminy, 2 dílů rašeliny, 2 dílů kompostovaného hnoje a 1 dílu písku. Tím se získá směs o objemové hmotnosti 0,75 - 0,80 kg/l s neutrálním pH, ve které prosperuje např. *Asparagus sprengeri*, *Cineraria*, *Calla* či chryzantémy.

Směsi lehké s převahou organických zemin. Složené ze: 4 dílů listovky, 1 dílu rašeliny, 1 dílu pařeništní zeminy, 1 dílu kompostu, 1 dílu písku. Tato směs vykazuje vysokou kyprost a propustnost pro vodu s pH 5,5 - 6,5 a objemovou hmotností cca 0,50 kg/l, sloužící výhradně pro pěstování bramboříků, begonií, kapradin, fikusů aj.

Požadavky na zahradnický substrát můžeme rozlišit do tří kategorií (Vaněk et al., 2012):

- **Biologické** – hygienická nezávadnost, bez zárodků chorob, škůdců, reziduí pesticidů, inhibičních látek, bez plevelů a klíčivých semen.
- **Chemické** – vhodné pH, ústojčivá (pufrační) schopnost, obsah solí, obsah rizikových prvků (těžké kovy, Na, Cl aj.), přiměřený obsah organických látek, poměr C : N, obsah přijatelných živin aj.
- **Fyzikální** – velikost částic, pórovitost, struktura, vzdušná a vodní kapacita, sorpce živin aj.

Pro hodnocení substrátů lze za nejdůležitější považovat obsah organických látek, vodivost a pH. V případě vhodně zvolených materiálů můžeme docílit žádaných parametrů substrátu (Vaněk et al., 2012).

Substráty lze rozdělit podle obsahu organických látek na organické, minerální (s obsahem spalitelných látek pod 15 %), meliorační a hnojiva. Přičemž některé materiály lze použít samostatně, např. rašelina, perlit, písek. Většinou však dochází ke kombinacím materiálů. Výhodou je využití vlastností jednotlivých komponentů a vytvoření substrátů s velmi rozdílnými fyzikálními i chemickými parametry. Organické substráty dále dělíme dle použití na výsevni, pro množení (přepichování a množení řízků) a pěstební (univerzální a speciální pro určitý druh nebo skupinu rostlin) (Vaněk et al., 2007, 2012).

4.3.1 Organický podíl

Podíl organických látek obsažených v substrátu příznivě ovlivňuje jeho fyzikální vlastnosti. Zejména prokypření, pórovitost a vododržnost. Obohacuje ho o živiny a biologicky aktivní látky (Bedrna, 1989; Vaněk et al., 2012).

Bylo provedeno několik studií o použití alternativních pěstebních substrátů získaných z různých organických odpadů, nicméně použití kompostu jako substrátu či jejich složek může představovat omezení v důsledku vysokého obsahu solí, nevhodných fyzikálních vlastností, různé kvality složek, včetně potenciální toxicity těžkých kovů (Herrera et al., 2008). Kombinací kompostu s rašelinou můžeme minimalizovat případné špatné vlastnosti jednotlivých materiálů, jako jsou např. vysoká zasolenost, heterogenita nebo vysoký obsah znečišťujících látek. Proto je podíl kompostu v pěstebních médiích zásadní pro snížení rizik, zejména zasolení (Restrepo et al., 2013).

Rašelina jako organický materiál představuje kvůli svým vhodným fyzikálním a chemickým vlastnostem hlavní pěstební substrátovou složku, používanou ve skleníkových směsích (El-Mahrouk et al., 2017).

Vítek, (2017) uvádí min. 70% podíl v dnešních substrátech, s tím, že obvykle představuje 90 - 100%.

Maher et al., (2008) a řada dalších autorů uvádí u rašeliny nízkou objemovou hmotnost, vysokou celkovou pórovitost a obecně vykazuje velmi vysokou kationtovou výměnnou kapacitu (180 mmol₊/100 g). Její aktivní pH je přibližně v rozmezí 3,0 - 5,0 (Landis, 1990). Poskytuje dobré provzdušnění a střední až vysokou kapacitu zadržování vody (Bigelow et al., 2004).

Samotná rašelina je chudá na základní výživové prvky a má tak omezené možnosti výživy rostlin. Lze ji použít samostatně nebo v kombinaci s jinými organickými či anorganickými komponenty. Jelikož se jedná o přírodní neobnovitelný zdroj, její používání v zahradnictví v poslední době vyvolává rostoucí obavy o životní prostředí a její přidávání do substrátů začíná být omezováno. Pomocí přidání digestátu můžeme doplnit nedostatek živin a eliminovat využívání rašeliny do pěstebních substrátů jakožto neobnovitelného zdroje, ale i hnojiv potřebných k doplnění živin. Tím zrecyklujeme a vhodně využijeme digestáty, u kterých dochází v poslední době k čím dál větší produkci (Restrepo et al., 2013).

Hodnocení základních chemických a hydrofyzikálních vlastností a objemové hmotnosti potvrdilo, že pro přípravu pěstebních substrátů jsou vhodné pouze separáty ze zemědělských bioplynových stanic. V závislosti na vysušení, obsahu živin a potřebách rostliny může separát tvořit až 40% podíl pěstebního substrátu (Dubský et al., 2019). Pokud výrobce pěstebních substrátů použije při přípravě substrátů sušený separát a částečně jím nahradí rašelinu, klesnou mu náklady na rašelinu, hnojiva a vápenec (Tlustoš et al., 2016).

Rašelina se dá však částečně či dokonce úplně nahradit alternativními složkami substrátů. Jako spolehlivé se ve větší či menší míře prokázaly piliny, kompost, kůra, kompostovaná kůra, drcená hydrofilní minerální vlna, kokosové vlákno a čistírenský kal (Schmilewski, 2008).

4.3.2 Minerální podíl

Minerální látky tvoří základ mnoha pěstebních substrátů. Důležitými vlastnostmi pro jejich hodnocení jsou sorpční schopnost, zrnitost, obsah minerálních živin, reakce pH a vodní a vzdušné vlastnosti. Zpravidla nejsou zdrojem dusíku, protože neobsahují živé organismy. Bez přidání organické složky do substrátu nejsou minerální komponenty vhodné pro pěstování rostlin (Bedrna, 1989). Jestliže má substrát vyšší podíl minerální složky, zpravidla je těžší. Zvyšováním podílu minerálních zemin dochází ke snižování kyprosti, obsahu nekapilárních pórů a propustnosti. Zvyšuje objemovou hmotnost substrátu a poutání živin (Vítek, 2017).

U zemin se jako nejvhodnějším materiálem prokázaly sprašové hlíny, bentonit a různé druhy zeolitu. Do substrátu jsou přidávány v podílu 5 - 20 % za účelem zvýšení sorpční kapacity a stabilizace vůči změnám pH. Současně umožňují sorpci živin a vylepšují i příjem vody při přeschnutí substrátu. Zeminy se doporučují přidávat do substrátů s vyšším podílem jílových minerálů (Vaněk et al., 2012).

Písek zvyšuje objemovou hmotnost, vsakování a propustnost půdy. Vykazuje pouze 40 % pórovitosti, z toho větší část tvoří vzduch, proto jeho schopnost zadržovat vodu je velmi

malá. Substráty s větším podílem písku jsou využívány především na travní porosty, střešní zahrady, golfové a sportovní hřiště. Avšak je třeba pravidelná zálivka a hnojení. V substrátech s vyšším podílem písku je výhodou větší snášenlivost vůči zatížení (Vaněk et al., 2012).

4.3.3 Meliorační komponenty

Jedná se o příměsi, jež nakypřují, zvyšují vodní nasáklivost a zlepšují vodopropustnost substrátů (např.: písek, perlit, pěnový polystyrén, pěnová formaldehydmočovina, aj.), (Vítek, 2017).

4.4 Minerální výživa rostlin

Základní biogenní prvky, kterými jsou uhlík, vodík a kyslík se podílí na složení sušiny rostlin z 96 %. Jejich jednotlivé procentuální zastoupení včetně ostatních prvků je uvedeno v Tab. č. 2. Energie, která je zapotřebí k přeměně anorganických látek na organické, je přijímána ve formě slunečního záření. Jako zdroj anorganických látek slouží CO₂, O₂, H₂O a minerály půdního roztoku, rozpuštěné ve formě iontů (Strnad, 2015).

Prvky, které se vyskytují v rostlinách v relativně velkém množství, označujeme jako makroprvky či makrobiogenní prvky. Většinou se jedná o komponenty základních strukturních a funkčních složek rostlinného organismu. Řadíme sem **C, O, H, N, P, K, Ca, Mg, S**.

Prvky, které jsou zastoupeny v relativně malém množství, označujeme jako mikroprvky nebo stopové prvky. Vystupují v roli důležitých kofaktorů enzymů při biochemických reakcích. Jejich obsah je zpravidla menší než 0,05 % a řadíme sem **Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl, Ni, (Co)**.

Další skupinou jsou prvky užitečné, jejichž obsah může dosahovat vysokých hodnot, avšak pro některé druhy rostlin nejsou důležité. Patří sem **Na, Al, Si**, aj. (Vaněk et al., 2007).

Tab. č. 2: Přibližné relativní zastoupení makro a mikroprvků v rostlinné sušině (Strnad, 2015)

| Makroprvky | C | O | H | N | K | Ca | Mg | P | S |
|-------------------|----|----|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| % | 45 | 45 | 6 | 1,5 | 1,0 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 0,1 |

| Mikroprvky | Cl | Fe | B | Mn | Zn | Cu | Ni, Mo |
|-------------------|------|------|-------|-------|-------|--------|---------|
| % | 0,01 | 0,01 | 0,006 | 0,005 | 0,002 | 0,0006 | <0,0001 |

Relativní převaha jednoho z prvků nese svědčí o jeho významu v biologii. V některých případech může mít i nepatrný nedostatek množství minerálu významný negativní dopad na růst a životní cyklus rostliny (Wiedenhoeft, 2006).

Každá živina plní řadu specifických funkcí a cílem každého zemědělce či pěstitele je vytvářet předpoklady pro harmonickou výživu rostlin. Nedostatkem či naopak přebytkem kterékoliv živiny dochází v rostlinách ke změnám vzájemných poměrů živin. To se může projevit narušením metabolických procesů a promítnout se do kvality i kvantity produkce (Vaněk et al., 1998). Přehled makro i mikroprvků, nezbytných pro růst a vývoj rostlin, jejich zdroj a hlavní význam pro rostlinu je uveden v Tab. č. 3.

Na světě je asi 240 000 druhů vyšších rostlin, a ne všechny tyto druhy mají stejné minerální potřeby ve stejném měřítku. Některé vyžadují specifický prvek v mnohem vyšší

koncentraci než jiné, avšak jiné jsou pro změnu schopny tolerovat mnohem vyšší koncentrace určitého prvku, který by pro jinou rostlinu mohl být jedovatý.

Nedostatek živin v rostlinách se nejčastěji projevuje fyziologickými reakcemi rostlin neboli symptomy. Ty jsou lokalizovány do mladších pletiv, zralějších pletiv, nebo široce distribuované po celé rostlině. Právě tato lokace pomáhá určovat nedostatky či přebytky živin (Wiedenhoeft, 2006).

Není však jednoduché určit skutečnou příčinu špatného růstu rostlin či poruch běžného vývinu. Většinou symptomy na rostlinách nejsou typické, podobné příznaky jsou vyvolávány větším počtem vlivů, eventuálně jsou skryté jinými fyziologickými vlivy, sekundárním napadením škůdci, chorobami apod. Velký vliv na poruchy růstu rostlin mají vnější podmínky, ale také i specifické vlastnosti jednotlivých druhů rostlin, jejich vývojová fáze a stáří jednotlivých pletiv (Vaněk et al., 1998).

Tab. č. 3: Přehled makro a mikroprvků nezbytných pro růst a vývoj rostliny, jejich zdroj a hlavní význam pro rostlinu (Strnad, 2015)

| Chemické prvky nezbytné pro růst a vývoj rostlin | | |
|---|--|---|
| Makroprvky | Přijímány ve formě | Hlavní funkce |
| uhlík (C) | CO ₂ | základní složka rostlinné organické hmoty |
| kyslík (O) | O ₂ | základní složka rostlinné organické hmoty |
| vodík (H) | H ₂ O | základní složka rostlinné organické hmoty |
| dusík (N) | NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ | součást nukleových kys., proteinů, hormonů a koenzymů |
| draslík (K) | K ⁺ | kofaktor enzymů; hlavní látka ovlivňující vodní bilanci a iontovou rovnováhu rostliny; otevírání a zavírání průduchů |
| vápník (Ca) | Ca ²⁺ | důležitý pro utváření a odolnost buň. stěny, zachování permeability a správné funkce membrán; aktivace některých enzymů; významný regulátor buněčné odpovědi na mnohé podněty |
| hořčík (Mg) | Mg ²⁺ | složka chlorofylu; často jako aktivátor enzymů |
| fosfor (P) | H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻ | složka fosfolipidů, nukleových kys., ATP a koenzymů |
| síra (S) | SO ₄ ²⁻ | složka proteinů, koenzymů |
| Mikroprvky | | |
| chlór (Cl) | Cl ⁻ | nezbytný při fotolýze vody, ovlivňuje vodní bilanci rostliny |
| železo (Fe) | Fe ²⁺ , Fe ³⁺ | složka cytochromů; aktivátor některých enzymů |
| bór (B) | H ₂ BO ₃ ⁻ | pravděpodobně ovlivňuje stavbu a vlastnosti buň. stěny, její interakci s plazmatickou membránou => projevy deficience velmi komplexní |
| mangan (Mn) | Mn ²⁺ | nezbytný při fotolýze vody; kofaktor nebo aktivátor mnoha enzymů |
| zinek (Zn) | Zn ²⁺ | podílí se na syntéze chlorofylu; kofaktor nebo aktivátor mnoha enzymů |
| měď (Cu) | Cu ²⁺ | významná složka redoxních enzymů a enzymů podílejících se na lignifikaci pletiv; součást elektronového přenašeče plastocyaninu |
| molybden (Mo) | MoO ₄ ²⁻ | význam při redukci N ₂ hlízkovými bakteriemi; kofaktor nitrátreduktázy |
| nikl (Ni) | Ni ²⁺ | kofaktor enzymů dusíkového metabolismu |

5 Metodika

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 pěstební substrátu za pomoci kombinace fugátu, slámy a rašeliny. Hodnota pH byla upravena vápničím dolomitem. Varianty pokusu jsou uvedeny v Tab. č. 4.

Tab. č. 4: 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 vápničím dolomitu/l | 211 |
| 3 | testovaný substrát | rašelina + 5 % slámy s fugátem + 12 g vápničím dolomitu/l | 259 |
| 4 | testovaný substrát | rašelina + 10 % slámy s fugátem + 10 g vápničím dolomitu/l | 269 |
| 5 | testovaný substrát | rašelina + 15 % slámy s fugátem + 8 g vápničím dolomitu/l | 278 |
| 6 | testovaný substrát | rašelina + 20 % slámy s fugátem + 6 g vápničím dolomitu/l | 301 |

* OH – objemová hmotnost

Kapalná složka digestátu (fugát; 70 kg) pocházela ze zemědělské bioplynové stanice Krásná Hora nad Vltavou. Fugát byl důkladně homogenizován se slámou (*Miscanthus* 52,8 kg), sója (17,5 kg) a vodou (200 kg). Následná tepelná úprava probíhala po dobu 7 dnů při teplotě 82 °C, s dvěma cykly propařování. Jako běžný pěstební substrát byl využit Zahradnický substrát s aktivním humusem (AGRO CS, Česká Skalice). Jako druhý kontrolní substrát byla využita bílá rašelina (Profi Peat White, AGRO CS, Česká Skalice) s hnojivem PG MIX - 14 % N, 7 % P, 15 % K, 0,42 % Mg, 7 % S, 0,09 % Fe, 0,12 % Cu, 0,04 % Zn, 0,16 % Mn, 0,03 % B, 0,2 % Mo (YARA Agri, Praha) a 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 vápničím 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 9

dnech, kdy bylo očekáváno ustálení poměrů v namíchaných substrátech. Všechny varianty byly 4× opakovány. Zalévání probíhalo každý týden, a to vždy na stejnou hmotnost jednotlivých variant. Cílem bylo udržovat přibližně 60 % vodní kapacity substrátu. Rostliny v testovaných substrátech vykazovaly projevy nedostatku dusíku, což bylo již dříve potvrzeno i analýzou vstupních substrátů. Proto bylo provedeno přihnojení dusičnanem vápenatým (15 % N, Lovochemie, Lovosice) v dávce 50, 100, 150 a 200 mg N na nádobu k variantám 3 – 6. Ve dnech 29. a 30.7. bylo provedeno ošetření 0,03% roztokem přípravku Mospilan (AgroBio, Opava) proti molicím.

5.1 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 mikroprvků v substrátech před i po sklizni
- obsah mikroprvků ve sklizených rostlinách bazalky (metody stanovení pH, vodivosti a mikroprvků jsou uvedeny níže).

5.2 Stanovení hodnoty pH a vodivosti

5.2.1 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.

5.2.2 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 laboratořemi ÚKZÚZ pro stanovení hodnoty výměnného pH. Aktivní pH, výměnné pH i vodivost byly měřeny přímo v suspenzi přístrojem HANNA Instruments (HI 991 301, Rhode Island, USA).

5.3 Stanovení obsahu okamžitě přístupných mikroprvků vodním výluhem

Extrakty byly zhotoveny dle Luscombe et al. (1979). Ke 3 g usušeného vzorku bylo doplněno 30 ml demineralizované vody. Vzorky byly třepány 1 hodinu a následně odstředěny (5 min. při 8000 g). Odstředěné vzorky byly dále filtrovány. Vzniklé extrakty byly analyzovány na obsah přístupných mikroprvků pomocí optického emisního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES, Varian VistaPro, Austrálie).

5.4 Stanovení rychle dostupných mikroprvků výluhem v 0,01 mol/l CaCl₂

Ke stanovení rychle dostupných mikroprvků byl využit výluh v 0,01 mol/l CaCl₂, který je někdy uváděn jako přesnější z hlediska vypovídající 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 zfiltrovány pro odstranění neodstředěných nečistot. Pro měření přístupných mikroprvků byl využit ICP-OES.

5.5 Stanovení potenciálně přístupných mikroprvků 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 vápenatým/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 zfiltrovány a v získaných extraktech měřen obsah mikroprvků pomocí ICP-OES.

5.6 Stanovení vybraných mikroprvků metodou Mehlich 3

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

5.7 Analýzy rostlin

Nadzemní hmota analyzovaných rostlin byla usušena a jemně namleta. Bylo naváženo 0,5 g (± 0,005g) namletého materiálu. Ten byl převeden do roztoku rozkladem na mokré cestě s pomocí mikrovlnné digesce v prostředí kyseliny dusičné a peroxidu vodíku. Získaný vzorek byl poté kvantitativně převeden do roztoku (finální objem 50 ml) a analyzován ICP-OES pro změření obsahů mikroprvků.

5.8 Zpracování výsledků

Pro statistické vyhodnocení byly využity základní popisné charakteristiky vypočtené v programu Microsoft Excel (Excel, 2007) a pokročilé statistické vyhodnocení (A-NOVA) bylo realizováno prostřednictvím programu Statistica 12 (StatSoft, Inc., 2017).

6 Výsledky

Pro větší přehlednost byla vytvořena Tab. č. 5, kde jsou uvedeny zkratky jednotlivých variant, které jsou později použity v textu.

Tab. č. 5: Zkratky vstupních materiálů a namíchaných kombinací

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

* Varianty RFS5 – RFS20 jsou někdy uváděny souhrnně jako RFS substráty

6.1 Předběžné hodnocení substrátů

Před zasazením bazalky právě byly provedeny rozbory samotných vstupních substrátů, tak i jejich kombinací. Naměřené hodnoty jsou uvedeny níže v Tab. č. 6 - 10. Byla měřena objemová hmotnost, procentuální podíl sušiny v substrátech, pH ve vodném výluhu i pH v chloridu vápenatém a vodivost. Jedná se o základní parametry, které ovlivňují chování makro i mikroprvků.

Nejnižší objemová hmotnost byla naměřena u rašeliny a varianty RPGMIX, kde byla její hodnota totožná, a to 211 g/l. Oproti tomu fugát se slámou vykazoval hodnotu nejvyšší 474 g/l). Se zvyšujícím se podílem FS tak logicky rostla i objemová hmotnost RFS substrátů.

Dle předpokladu byl obsah sušiny u FS velmi nízký, tj. pouze 25,8 %. Při porovnání sušiny FS a US, tvořil FS poloviční podíl. Tento nízký obsah FS se promítl i do ostatních variant RFS. Nejnižší podíl sušiny byl zaznamenán u RFS20 (30,5 %). Naopak nejvyšší hodnotu sušiny RFS substrátů měla varianta RFS5 (41,5 %), kde byl fugát se slámou zastoupen pouze 5 %.

Smíchání rašeliny s fugátem se jevilo jako vhodné i z hlediska zvyšování pH. Samotná rašelina se vyznačuje kyselým pH. Její hodnota vykazovala 3,70 a pH fugátu naopak zásadité s hodnotou 9,30. V porovnání s US bylo pH_{H_2O} ve variantách RFS nižší. Univerzální substrát vykazoval hodnotu pH 5,66. Nejvyšší hodnota pH_{H_2O} z variant RFS byla naměřena u RFS15, a to 4,63. Dle předpokladu v porovnání s výměnným pH_{CaCl_2} bylo pH ve vodném výluhu vyšší. Tendence jsou však obdobné.

EC mS/cm označuje vodivost, která udává zasolenost substrátů. Čím méně je substrát zasolen, tím má méně živin. U zahradnických pěstebních substrátů je doporučena zasolenost okolo 1 mS/cm. V případě vyšších hodnot hrozí, že by rostliny neklíčily nebo byl omezen růst kořenů. Naměřená hodnota fugátu se slámou vykazovala hodnotu 1,35 mS/cm. Přidáním FS do rašeliny došlo ke snížení vodivosti díky naředení FS málo vodivou rašelinou. Vysokou vodivost naopak vykazoval substrát RPGMIX – 1,95 mS/cm. Předpěstováním bazalky v písku a

zasazením sazenic bylo předejito případným problémům s klíčením. Dle výsledků vodivosti ve variantách RFS5 – RFS20 se hodnoty výrazně neměnily (vše okolo 0,330 mS/cm) a z tohoto hlediska by se tak do rašeliny dalo přidat i více fugátu se slámou.

Tab. č. 6: Vstupní rozbor

| Substrát | Objemová hmotnost (g/l) | Sušina substrátu % | pH _{H2O} | pH _{CaCl2} | EC mS/cm |
|----------|-------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|----------|
| R | 211 | 50,7 | 3,70 | 2,80 | 0,115 |
| FS | 474 | 25,8 | 9,30 | 8,10 | 1,35 |
| US | 327 | 52,0 | 5,66 | 5,08 | 0,790 |
| RPGMIX | 211 | 43,9 | 4,09 | 3,89 | 1,95 |
| RFS5 | 259 | 41,5 | 4,41 | 4,12 | 0,300 |
| RFS10 | 269 | 37,1 | 4,41 | 4,00 | 0,360 |
| RFS15 | 278 | 32,8 | 4,63 | 4,25 | 0,310 |
| RFS20 | 301 | 30,5 | 4,51 | 4,03 | 0,330 |

Pro změření obsahu okamžitě přístupných mikropvků Fe, Cu, Zn, Mn, B, Mo, Ni byl použit vodný výluh. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v Tab. č. 7.

Nejvyšší hodnoty byly jednoznačně naměřeny ve variantě FS. Zejména u Fe, kde dosahovaly až 33,5 mg/kg. Pouze u Mn byl obsah vyšší u substrátu RPGMIX (6,30 mg/kg). Nejméně Fe (5,32 mg/kg) bylo ve variantě RFS5.

Rašelina byla na živiny spíše chudá a dosahovala nižších hodnot. Nejméně u Ni (0,040 mg/kg), který obecně vykazoval hodnoty nejnižší u všech variant oproti ostatním prvkům.

Pouze u univerzálního substrátu byl nižší obsah Cu (0,259 mg/kg) oproti Ni (0,398 mg/kg).

Obsah Cu u substrátů využitých pro pěstování bazalky se pohyboval v rozmezí 0,240 - 0,398. Obsah molybdenu byl kvůli velmi nízkým obsahům spektrometrem nezměřitelný.

Tab. č. 7: Změření obsahu okamžitě přístupných mikropvků vodným výluhem

| Substrát | Vodný výluh (mg/kg sušiny) | | | | | | |
|----------|----------------------------|-------|-------|-------|-------|----|-------|
| | Fe | Cu | Zn | Mn | B | Mo | Ni |
| R | 11,5 | 0,398 | 0,241 | 0,259 | 0,711 | 0 | 0,040 |
| FS | 33,5 | | 6,72 | 3,74 | 9,78 | 0 | 0,520 |
| US | 26,5 | 0,259 | 0,970 | 0,790 | 1,80 | 0 | 0,398 |
| RPGMIX | 12,9 | 0,337 | 1,36 | 6,29 | 2,42 | 0 | 0,120 |
| RFS5 | 5,32 | 0,279 | 0,406 | 0,576 | 0,238 | 0 | 0,079 |
| RFS10 | 5,37 | 0,240 | 0,435 | 0,562 | 0,410 | 0 | 0,075 |
| RFS15 | 6,95 | 0,362 | 0,630 | 0,647 | 0,537 | 0 | 0,078 |
| RFS20 | 6,65 | 0,349 | 0,619 | 0,544 | 0,681 | 0 | 0,097 |

Stanovení rychle dostupných mikroprvků bylo měřeno pomocí výluhu v 0,01 mol/l CaCl₂. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány v Tab. č. 8.

Nejvyšších naměřených hodnot dosahovala zpravidla varianta fugátu se slámou. To je patrné zejména u železa, kde je hodnota oproti univerzálnímu substrátu až 3× vyšší. Tato skutečnost se však neprokázala u všech prvků. Například u Zn (6,64 mg/kg) a Mn (12,8 mg/kg) byly hodnoty vyšší u rašeliny než ve variantě FS. S rostoucím podílem fugátu u variant RFS se zvyšovaly hodnoty u Cu (RFS5 0,120 mg/kg – RFS20 1,43 mg/kg). Podobnou tendenci mělo i Fe (RFS5 0,970 mg/kg – RFS20 2,00 mg/kg).

Naopak u Mn s přidáním podílu fugátu do RFS substrátů hodnoty klesaly. Nejnižší varianta RFS20 dosáhla 5,71 mg/kg. I přesto však byla vyšší než u US, tj. 3,50 mg/kg.

Obsahy B i Ni vykazovaly velmi nízké hodnoty testovaných RFS substrátů, naopak nejvyšší hodnoty byly naměřeny u FS. Nejmarkantnější rozdíl byl zaznamenán u obsahu B, kde u FS dosahoval 8,22 mg/kg a u variant RFS5, RFS15 a RFS20 nebyl kvůli nízkým hodnotám přístrojem detekován.

Obsah Mo byl kvůli velmi nízkým hodnotám přístrojem nedetekovatelný.

Tab. č. 8: Stanovení rychle dostupných mikroprvků výluhem v 0,01 mol/l CaCl₂

| Výluh 0,01 mol/l CaCl ₂ (mg/kg sušiny) | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|------|-------|----|-------|
| Substrát | Fe | Cu | Zn | Mn | B | Mo | Ni |
| R | 4,32 | 0,820 | 6,64 | 12,8 | 0,190 | 0 | 0,380 |
| FS | 20,1 | 4,33 | 4,97 | 2,32 | 8,22 | 0 | 0,530 |
| US | 6,49 | 0,190 | 0,640 | 3,50 | 1,11 | 0 | 0,206 |
| RPGMIX | 5,57 | 0,140 | 2,06 | 10,7 | 1,53 | 0 | 0,000 |
| RFS5 | 0,970 | 0,120 | 1,21 | 6,75 | 0,000 | 0 | 0,046 |
| RFS10 | 0,880 | 0,147 | 1,38 | 6,17 | 0,310 | 0 | 0,000 |
| RFS15 | 1,36 | 0,281 | 1,27 | 5,81 | 0,000 | 0 | 0,000 |
| RFS20 | 2,00 | 1,43 | 0,980 | 5,71 | 0,000 | 0 | 0,000 |

Měření potencionálně přístupných mikroprvků bylo provedeno pomocí metody CAD. Výsledky jsou uvedeny v Tab. č. 9.

Nejvyšší hodnoty byly vždy naměřeny v případě Fe. Hodnoty Fe u rašeliny byly velmi vysoké (558 mg/kg), avšak u FS naopak velmi nízké (10,1 mg/kg). Z tohoto důvodu bylo v RFS substrátech naměřeno v průměru 256 mg/kg. Nejvíce v RFS10, tj. 276 mg/kg. Obsah US dosahoval výsledků vyšších než u substrátů RFS, a to 396 mg/kg.

Výsledky Cu u RFS substrátů se s podílem fugátu zvyšovaly. Nejvíce bylo obsaženo v RFS20 – 2,97 mg/kg a hodnoty RFS byly v průměru vyšší než u US (1,68 mg/kg). S vysokým rozdílem u obsahu Cu dominoval RPGMIX, a to 16,1 mg/kg. Rašelina u Cu dosahovala hodnot poměrně nízkých (1,81 mg/kg).

Podobná tendence růstu obsahu s přidáním podílu fugátu byla jak u Cu, tak B (RFS5 0,770 mg/kg – RFS20 2,72 mg/kg) a Ni (RFS5 0,389 mg/kg – RFS20 0,615 mg/kg).

Obecně lze říci, že FS ve většině případů dosahoval nižších hodnot než US. Vynikal však obsah B s 6,82 mg/kg u FS.

Hodnoty Mn byly nejvyšší u US (49,1 mg/kg) a obsah Mo byl přístrojem detekován pouze u RPGMIX (1,87 mg/kg).

Tab. č. 9: Stanovení potencionálně přístupných mikroprvků metodou CAD

| CAD - CaCl ₂ /DTPA (mg/kg sušiny) | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|-------|------|-------|
| Substrát | Fe | Cu | Zn | Mn | B | Mo | Ni |
| R | 558 | 1,81 | 30,4 | 33,5 | 1,52 | 0 | 1,09 |
| FS | 10,1 | 1,53 | 14,5 | 16,0 | 6,82 | 0 | 0,240 |
| US | 396 | 1,68 | 18,3 | 49,1 | 1,97 | 0 | 0,511 |
| RPGMIX | 277 | 16,1 | 17,4 | 38,4 | 3,26 | 1,87 | 0,527 |
| RFS5 | 236 | 1,22 | 11,6 | 21,0 | 0,770 | 0 | 0,389 |
| RFS10 | 276 | 1,89 | 15,4 | 25,0 | 1,27 | 0 | 0,511 |
| RFS15 | 250 | 2,08 | 15,1 | 23,4 | 1,85 | 0 | 0,570 |
| RFS20 | 236 | 2,97 | 18,0 | 24,4 | 2,72 | 0 | 0,615 |

Při stanovení vybraných mikroprvků metodou Mehlich 3 bylo zaznamenáno podobné rozložení mg/kg sušiny jako u měření potencionálně přístupných mikroprvků metodou CAD. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. č. 10.

Nejvyšších hodnot dosahovalo Fe, u kterého bylo naměřeno nejvíce u US (360 mg/kg). Rašelina měla o poznání méně, a to 232 mg/kg. S přidáváním podílu fugátu, rostla i hodnota Fe v RFS substrátech, a to v rozmezí 178 - 263 mg/kg.

Nejvyšší množství Cu (10,9 mg/kg) bylo naměřeno v substrátu RPGMIX, pravděpodobně kvůli přidavku Cu - hnojivem PG MIX. Obsahy Cu v US (1,64 mg/kg) byly téměř srovnatelné s variantami substrátů RFS, a to v rozmezí (1,33 - 1,65 mg/kg).

Obsah Zn, stejně jako Fe i Mn se zvyšoval s přidavkem fugátu. Nejvyšší hodnota Zn u testovaných substrátů byla naměřena ve variantě RFS20 (13,8 mg/kg). Univerzální substrát dosahoval hodnot vyšších, a to 16,3 mg/kg.

Z testovaných RFS substrátů byl naměřen nejvyšší obsah Ni ve variantě RFS10, a to 0,581 mg/kg. Nejméně Ni bylo naměřeno v RFS15 (0,374 mg/kg). Naměřený obsah Ni v US dosahoval průměrných hodnot RFS, a to 0,426 mg/kg.

Obsahy molybdenu se pohybovaly mimo detekční limity přístroje ICP-OES.

Tab. č. 10: Stanovení vybraných mikroprvků metodou Mehlich 3

| Mehlich 3 (mg/kg sušiny) | | | | | | | |
|--------------------------|------|-------|------|------|-------|----|-------|
| Substrát | Fe | Cu | Zn | Mn | B | Mo | Ni |
| R | 232 | 0,690 | 5,30 | 12,3 | 0,000 | 0 | 0,401 |
| FS | 49,0 | 4,85 | 17,3 | 29,0 | 0,000 | 0 | 0,608 |
| US | 360 | 1,64 | 16,3 | 27,0 | 1,35 | 0 | 0,426 |
| RPGMIX | 233 | 10,9 | 11,9 | 24,2 | 1,29 | 0 | 0,358 |
| RFS5 | 178 | 1,65 | 7,39 | 11,2 | 0,000 | 0 | 0,514 |
| RFS10 | 248 | 1,33 | 10,1 | 14,5 | 0,040 | 0 | 0,581 |

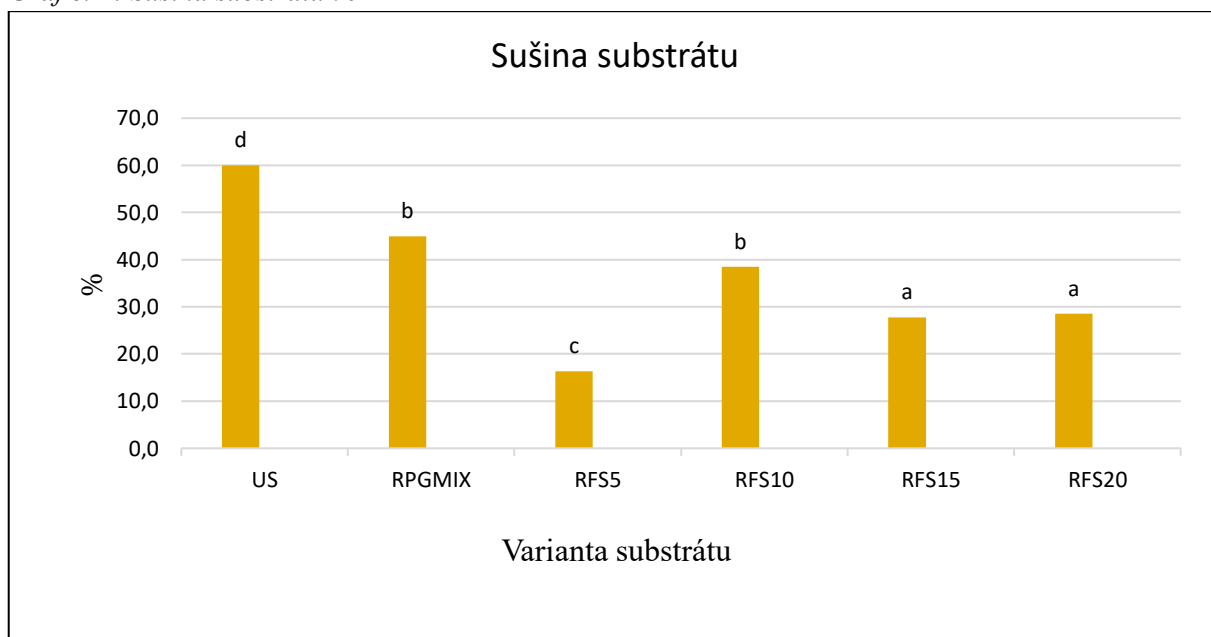
| | | | | | | | |
|-------|-----|------|------|------|-------|---|-------|
| RFS15 | 256 | 1,40 | 11,8 | 18,4 | 0,040 | 0 | 0,374 |
| RFS20 | 263 | 1,45 | 13,8 | 20,6 | 0,110 | 0 | 0,476 |

6.2 Výsledky analýz po sklizni pokusu

Pro hodnocení posklizňových výsledků byla použita statistická analýza ANOVA. Pro určení průkazného rozdílu mezi variantami byl proveden ve statistice Tukey test, při hladině významnosti $p < 0,01$. Rozdílná písmena značí statisticky průkazný rozdíl mezi variantami. Byly měřeny základní vlastnosti substrátu, obsahy mikroprvků v substrátech a rostlinách a odběry mikroprvků sklizní rostlin. Pro větší přehlednost jsou některá měření vyznačena v grafech.

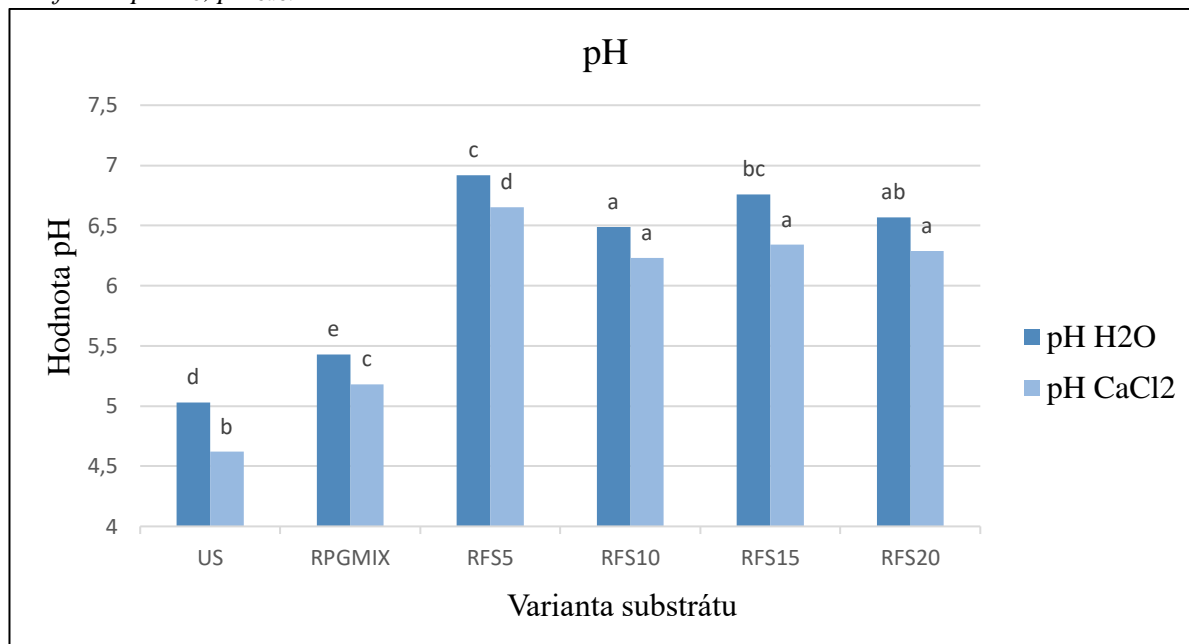
V grafu č. 1 je znázorněno % sušiny substrátů. Nejvyšší % sušiny ze všech substrátů měl US. Naopak prokazatelně nejnižší % obsahovala varianta RFS5. RFS15 a RFS20 dosahovaly téměř totožných hodnot. Stejně tomu bylo i u RPGMIX a RFS10.

Graf č. 1: Sušina substrátu %



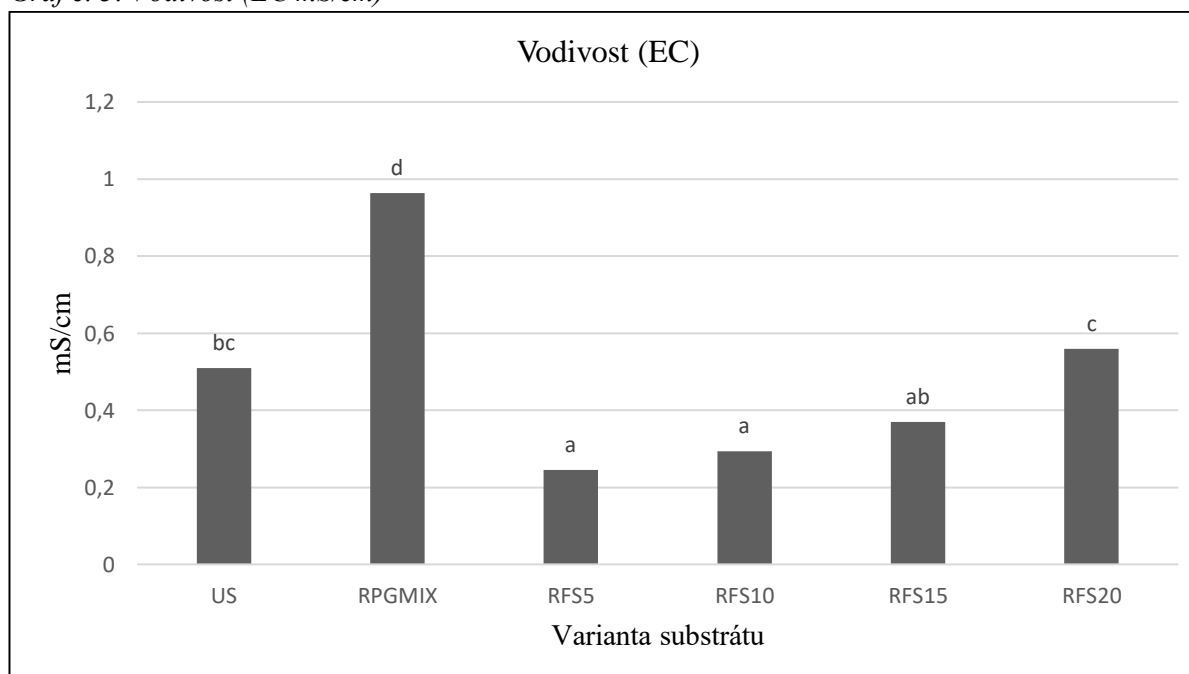
Hodnota aktivního pH měřeného ve vodném výluhu byla podle předpokladů vždy vyšší než hodnota výměnného pH měřeného extrakcí chloridem vápenatým (Graf č. 2). U obou způsobů měření pH se projeví průkazné rozdíly mezi variantami. Hodnoty naměřené u RFS substrátů byly vždy vyšší než u kontrolních substrátů US a RPGMIX. Projevilo se tak patrně pozvolné působení přidaného vápnitého dolomitu do RFS substrátů, kde hodnoty $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ po sklizni činily v průměru 6,3, což je považováno za optimální hodnotu pro pěstování většiny rostlin. Průkazně nejvyšší hodnoty pH byly v obou případech zaznamenány u varianty RFS5, což bylo pravděpodobně způsobeno nejvyšší dávkou vápnitého dolomitu. Hodnoty pH u RFS10 – RFS20 byly vzájemně srovnatelné.

Graf č. 2: pH_{H_2O} , pH_{CaCl_2}



Prokazatelně nejvyšší vodivost (Graf č. 3) byla naměřena u RPGMIX, jejíž hodnota se pohybovala pod 1 mS/cm, přesněji 0,963 mS/cm. Oproti vstupním výsledkům její hodnota po sklizni výrazně klesla. RPGMIX byl statisticky odlišný od všech substrátů. Se stoupajícím podílem FS rostla i vodivost. Statisticky podobných výsledků bylo dosaženo u substrátů RFS5 – RFS15. Substráty RFS15 a RFS20 měly statistickou podobnost s US.

Graf č. 3: Vodivost (EC mS/cm)



Obsahy mikroprvků v substrátu stanovené vodním výluhem (okamžitě přístupných forem) jsou uvedeny v Tab. č. 11.

Nejvíce Fe bylo naměřeno u US, dále u RPGMIX. Hodnoty RFS5 - RFS20 si byly statisticky podobné.

V případě Cu a Zn se průkazně lišila (vyšší hodnoty) pouze varianta RPGMIX, ostatní hodnoty vykazovaly prokazatelnou podobnost.

Nejvyšší obsah Mn byl naměřen u RPGMIX. Jedinou statistickou podobnost měl s US. S rostoucím podílem FS, rostla i hodnota B u RFS substrátů. I přesto měl US obsah několikanásobně vyšší.

Obsah Mo byl měřitelný pouze u RPGMIX a RFS5.

Hodnoty Ni byly nejvyšší u US a RPGMIX. Vykazovaly statistickou podobnost. Všechny RFS substráty měly srovnatelné obsahy Ni, avšak ve srovnání s kontrolními substráty byly hodnoty průkazně nižší.

Tab. č. 11: Obsah mikroprvků v substrátu stanovený vodným výluhem (mg/kg sušiny)

| Varianta | Fe | Cu | Zn | Mn | B | Mo | Ni |
|----------|-------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| US | 13,2 ^c | 0,194 ^a | 0,558 ^a | 0,927^b | 1,74 ^e | 0 ^a | 0,241 ^b |
| RPGMIX | 9,32 ^b | 0,561^{**b} | 2,35^b | 1,14 ^b | 0,542 ^d | 0,456^b | 0,217^b |
| RFS5 | 4,06 ^a | 0,161 ^a | 0,290 ^a | 0,305 ^a | 0,000 ^a | 0,031^a | 0,071 ^a |
| RFS10 | 3,90 ^a | 0,218 ^a | 0,393 ^a | 0,288 ^a | 0,062 ^{ab} | 0 ^a | 0,069 ^a |
| RFS15 | 4,74 ^a | 0,258 ^a | 0,477 ^a | 0,372 ^a | 0,197 ^{bc} | 0 ^a | 0,065 ^a |
| RFS20 | 4,56 ^a | 0,215 ^a | 0,430 ^a | 0,286 ^a | 0,259 ^c | 0 ^a | 0,090 ^a |

** Tučně odlišené hodnoty jsou vyšší než u vstupních rozborů substrátů

Obsah dobře dostupných mikroprvků v substrátu stanovený v 0,01 mol/l CaCl₂ je uveden v Tab. č. 12.

Nejvyšší obsah Fe byl naměřen v RPGMIX, dále US a RFS20. Se zvyšujícím se podílem FS je z tabulky patrný rostoucí obsah Fe. Statistickou podobnost měl RPGMIX s US, US s RFS20 a RFS20 s ostatními testovanými substráty.

Hodnoty Cu u všech substrátů byly velmi podobné.

Nejvyšší hodnota Zn byla naměřena u RPGMIX, dále u US. Testované varianty Zn dosahovaly statisticky podobných výsledků. Taktéž tomu bylo i u Mn.

U bóru byl přístrojem detekován pouze US a RPGMIX.

Obsah Mo nebyl kvůli nízkým hodnotám přístrojem detekovatelný.

Hodnoty Ni nevykazovaly průkazné rozdíly mezi variantami.

Tab. č. 12: Obsah mikroprvků v substrátu stanovený výluhem 0,01 mol/l CaCl₂ (mg/kg sušiny)

| Varianta | Fe | Cu | Zn | Mn | B | Mo | Ni |
|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|--------------------------|
| US | 4,52 ^{bc} | 0,097 ^a | 0,606 ^b | 3,27 ^b | 1,22^b | 0,000 ^a | 0,077 ^a |
| RPGMIX | 5,20 ^c | 0,163^a | 1,19 ^c | 3,54 ^b | 0,143 ^a | 0,000 ^a | 0,021^a |
| RFS5 | 0,760 ^a | 0,041 ^a | 0,017 ^a | 0,430 ^a | 0,000 ^a | 0,000 ^a | 0,000 ^a |
| RFS10 | 1,09^a | 0,177^a | 0,023 ^a | 0,330 ^a | 0,000 ^a | 0,000 ^a | 0,043^a |
| RFS15 | 1,21 ^a | 0,047 ^a | 0,016 ^a | 1,02 ^a | 0,000 ^a | 0,000 ^a | 0,013^a |
| RFS20 | 2,18^{ab} | 0,000 ^a | 0,000 ^a | 0,770 ^a | 0,000 ^a | 0,000 ^a | 0,000 ^a |

Nejvíce potenciálně přístupného Fe stanoveného metodou CAD (Tab. č. 13) obsahoval US, který byl statisticky podobný s RFS5.

Nejvyšší obsah Cu byl naměřen u RPGMIX, a to až 2× vyšší oproti RFS5. Statistickou podobnost měly substráty RFS15 a RFS20.

Nejnižší hodnotu Zn obsahovala varianta RFS10, nejvyšší US.

Nejvyšší hodnotu Mn obsahoval US a mezi tímto substrátem a ostatními variantami byl statisticky prokázán rozdíl.

V případě B byl nejvyšší obsah naměřen u US, nejnižší RFS10.

Pouze u RPGMIX byl přístrojem detekován obsah Mo.

Průkazně nejvyšší obsah Ni se ukázal u varianty RFS5.

Tab. č. 13: Obsah mikroprvků v substrátu stanovený metodou CAD (mg/kg sušiny)

| Varianta | Fe | Cu | Zn | Mn | B | Mo | Ni |
|----------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| US | 709^c | 2,98^a | 35,3^c | 95,9^b | 3,34^d | 0 ^a | 0,990^a |
| RPGMIX | 359^a | 14,5 ^c | 29,7^{bc} | 62,8^a | 1,90 ^a | 2,09^b | 0,920^a |
| RFS5 | 573^{bc} | 6,07^b | 23,2^{ab} | 61,4^a | 1,62^a | 0 ^a | 1,94^b |
| RFS10 | 338^a | 2,67^a | 18,1^a | 42,8^a | 0,740 ^b | 0 ^a | 0,670^a |
| RFS15 | 448^{ab} | 3,99^{ab} | 25,7^{abc} | 56,6^a | 1,87^a | 0 ^a | 1,04^a |
| RFS20 | 382^a | 3,96^{ab} | 24,5^{abc} | 51,3^a | 2,54 ^c | 0 ^a | 1,00^a |

Nejvyšší obsah Fe v substrátu stanovený metodou Mehlich 3 byl naměřen u varianty US, stejně jako u Zn, Mn a B (Tab. č. 14). Obsah Fe u US vykazoval průkazný rozdíl oproti ostatním variantám, které si byly statisticky podobné.

Obsah Cu byl průkazně nejvyšší u RPGMIX. S přidáním podílu FS, rostl i obsah Cu.

Nejnižší hodnoty Zn byly naměřeny u RFS5, který byl statisticky podobný RFS10. S přidavkem FS rostly i obsahy Zn.

Obsah Mn byl stejně jako u Zn nejnižší u RFS5 a vykazoval stejný trend růstu FS jako Zn.

Obsah B byl nejvyšší u US, dále u RPGMIX a z testovaných RFS substrátů byl detekován pouze u substrátu s nejvyšším podílem FS (RFS20).

Mo byl detekován pouze u varianty RPGMIX.

Obsahy Ni byly nejvyšší a téměř totožné u variant US a RPGMIX. Nejnižší hodnota byla naměřena u RFS15. Varianta RFS10 vykazovala jako jediná podobnost s kontrolními substráty.

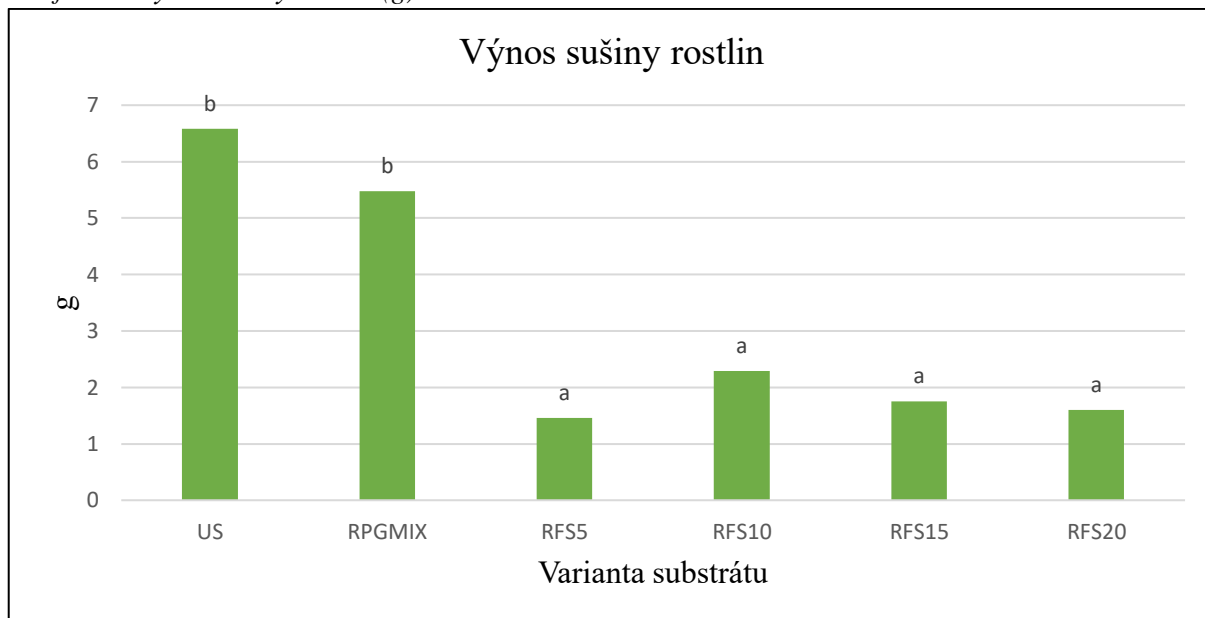
Tab. č. 14: Obsah mikroprvků v substrátu stanovený metodou Mehlich 3 (mg/kg sušiny)

| Varianta | Fe | Cu | Zn | Mn | B | Mo | Ni |
|----------|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|--------------------|--------------------------|---------------------|
| US | 313 ^b | 1,73^a | 17,4^d | 19,2 ^b | 1,14 ^c | 0 ^a | 0,332 ^b |
| RPGMIX | 209 ^a | 7,40 ^b | 14,4^c | 19,1 ^b | 0,318 ^b | 0,098^b | 0,333 ^b |
| RFS5 | 153 ^a | 0,930 ^a | 6,99 ^b | 9,53 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0,225 ^a |
| RFS10 | 200 ^a | 1,13 ^a | 9,37 ^{ab} | 12,4 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0,238 ^{ab} |
| RFS15 | 183 ^a | 1,16 ^a | 10,1 ^a | 12,6 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0,190 ^a |
| RFS20 | 178 ^a | 1,21 ^a | 10,8 ^a | 13,9 ^a | 0,113 ^a | 0 ^a | 0,203 ^a |

Výnos sušiny nadzemní hmoty bazalky v gramech je znázorněn v grafu č. 4.

Substrát US se vyznačoval nejvyšším výnosem sušiny nadzemní hmoty, následoval ho RPGMIX. V žádném z testovaných RFS substrátů se nepodařilo dosáhnout podobných výsledků jako v kontrolních substrátech. Množství sušiny testovaných substrátů bylo v průměru až 3,5× nižší než u kontrolních substrátů. U RFS substrátů bylo dosaženo vzájemné statistické podobnosti.

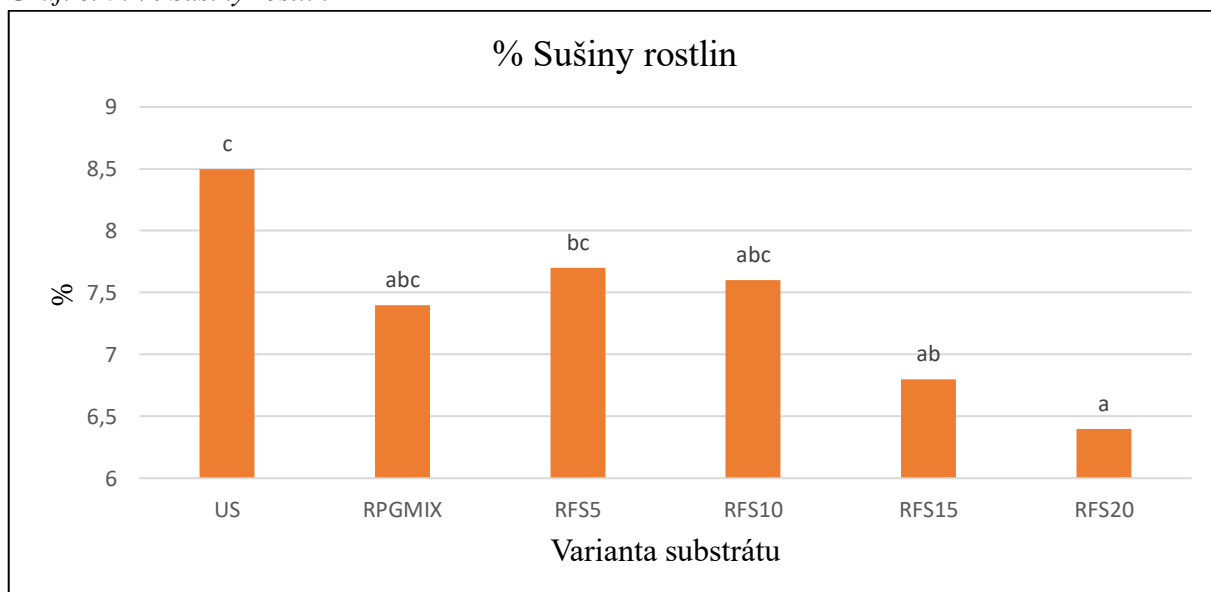
Graf. č. 4: Výnos sušiny rostlin (g)



V grafu č. 5 je znázorněno % sušiny rostlin bazalky právě.

Nejvyšší % sušiny rostlin obsahoval US, který vykazoval statistickou podobnost se substráty RFS5 a RFS10. RPGMIX vykazoval prokazatelnou podobnost s RFS10. Nejnižší % sušiny obsahoval substrát RFS20. Z toho je zřejmé, že s přidáním podílu FS se snižovalo % sušiny rostlin pěstovaných v RFS substrátech.

Graf. č. 5: % Sušiny rostlin



Obsahy jednotlivých mikroprvků v sušině nadzemní hmoty bazalky (mg/kg) jsou znázorněny v Tab. č. 17.

Nejvyšší obsahy prvků byly zaznamenány, s výjimkou Ni a Zn, u varianty RPGMIX. Nejvyšší obsah Ni byl zaznamenán u RFS5. Obsah Ni se s přidáním podílu FS snižoval, avšak i přesto vykazoval podobnost se všemi variantami.

Obsah Fe vykazoval ve všech variantách statistickou podobnost.

V případě Cu vykazoval průkazně nejvyšší hodnotu substrát RPGMIX. Ostatní varianty si byly statisticky podobné.

Obsahy B a Mo nebyly kvůli nízkým obsahům přístrojem detekovatelné.

Tab. č. 17: Obsah prvků v sušině nadzemní hmoty rostlin (mg/kg)

| Varianta | Fe | Cu | Zn | Mn | B | Mo | Ni |
|----------|------------------|-------------------|---------------------|-------------------|----------------|----------------|--------------------|
| US | 169 ^a | 3,32 ^a | 48,9 ^c | 97,0 ^b | 0 ^a | 0 ^a | 0,489 ^a |
| RPGMIX | 206 ^a | 9,12 ^b | 70,9 ^{ab} | 101 ^b | 0 ^a | 0 ^a | 0,877 ^a |
| RFS5 | 144 ^a | 3,85 ^a | 68,2 ^{ab} | 38,1 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 1,20 ^a |
| RFS10 | 151 ^a | 2,36 ^a | 54,2 ^{ac} | 25,2 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0,956 ^a |
| RFS15 | 162 ^a | 2,52 ^a | 64,6 ^{abc} | 25,5 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0,654 ^a |
| RFS20 | 162 ^a | 2,31 ^a | 73,3 ^b | 23,6 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0,225 ^a |

V poslední Tab. č. 18 je znázorněn celkový odběr prvků nadzemní hmotou rostlin v mg. Odběr mikroprvků byl vypočten z obsahu a z výnosu nadzemní hmoty rostlin.

Největší množství všech živin bylo odebráno rostlinami pěstovanými v RPGMIX. Pouze v případě Mn vykazoval nepatrně vyšší odběr u US.

Druhý nejvyšší odběr byl u rostlin pěstovaných v US. Statisticky průkazně vyšší hodnoty ve srovnání s RFS byly zaznamenány v kontrolních substrátech u Fe, Zn a Mn.

U Cu je patrný nižší odběr prvků rostlinami u varianty RFS20. Zde se s přidáním podílu FS snižoval odběr rostlinami.

Odběry u B a Mo nebyly kvůli nízkým hodnotám detekovatelné.

Tab. č. 18: Odběry prvků nadzemní hmotou (mg)

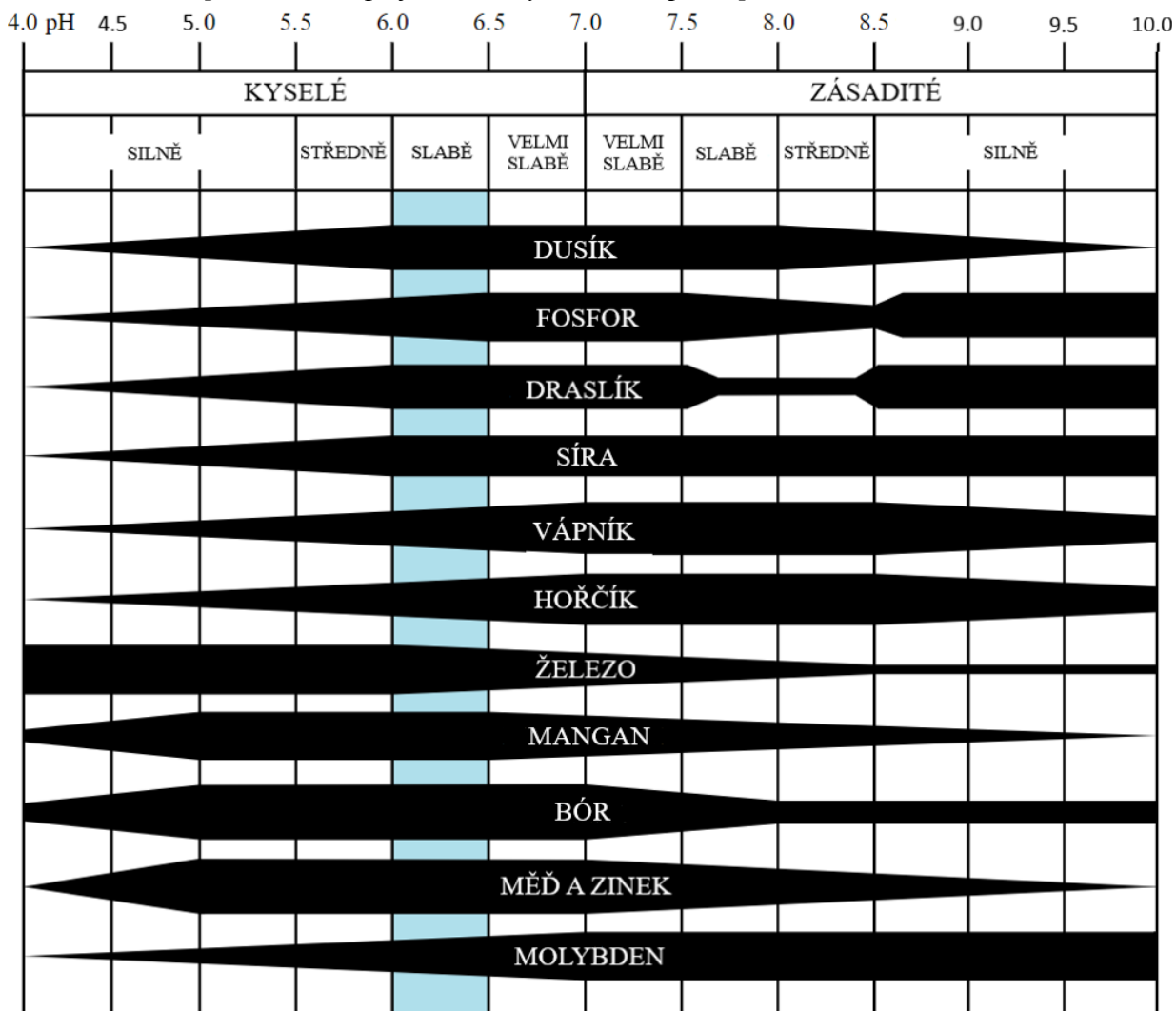
| Varianta | Fe | Cu | Zn | Mn | B | Mo | Ni |
|----------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------------|----------------|--------------------|
| US | 0,902 ^b | 0,021 ^b | 0,321 ^b | 0,630 ^b | 0 ^a | 0 ^a | 0,003 ^a |
| RPGMIX | 0,978 ^b | 0,050 ^c | 0,348 ^b | 0,561 ^b | 0 ^a | 0 ^a | 0,005 ^a |
| RFS5 | 0,239 ^a | 0,010 ^{ab} | 0,111 ^a | 0,056 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0,002 ^a |
| RFS10 | 0,347 ^a | 0,005 ^a | 0,116 ^a | 0,058 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0,002 ^a |
| RFS15 | 0,243 ^a | 0,004 ^a | 0,112 ^a | 0,045 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0,001 ^a |
| RFS20 | 0,244 ^a | 0,003 ^a | 0,116 ^a | 0,038 ^a | 0 ^a | 0 ^a | 0,000 ^a |

7 Diskuze

Tato část práce je zaměřena na hodnocení substrátů před a po sklizni pokusu bazalky pravé, především na základní vlastnosti substrátů, jimiž jsou pH a vodivost. Dále obsah přístupných mikroelementů v substrátu i nadzemní hmotě rostlin, výnosy sušiny rostlin, % sušiny rostlin a odběry prvků rostlinami.

Půdní reakce pH je jednou z nejvýznamnějších půdních vlastností podílejících se na půdní úrodnosti. Ovlivňuje příjem živin rostlinami a může tak způsobit jejich nedostatek. V Tab. č. 19 je zobrazena schopnost rostlin přijímat živiny při různém pH. V kyselém prostředí se zvyšuje rozpustnost sloučenin Fe, Mn, Cu, Zn, Al a B. V alkalickém prostředí jsou naopak rozpustnější sloučeniny Mo (Vaněk et al., 2021). Modrý pruh na obrázku označuje optimální pH půdy (6,0 - 6,5) pro většinu rostlin.

Tab. č. 19: Schopnost rostlin přijímat živiny v různém pH (upraveno dle McClellan, 2022)



Rašelina se vyznačuje nízkým pH v rozmezí 3,0 - 5,0 (Landis, 1990), naopak fugát má pH vysoké v rozmezí 7,0 - 9,0 (Vítěz, 2013). V našem případě bylo pH_{H_2O} rašeliny 3,7 a FS v průměru 9,3. Z tohoto hlediska se jevílo míchání rašeliny s FS jako vhodné řešení pro úpravu pH. Fugát obsahuje značné množství amonného dusíku, což je příčinou zvýšení hodnoty pH.

Postupně však dochází k jeho mineralizaci a poklesu pH. Proto byl do RFS substrátů rovněž přidán vápnitý dolomit. Ten má pomalou rozpustnost, a proto zajistil postupný vzestup pH během pokusu. Po sklizni pokusů bylo $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ RFS substrátů v průměru 6,7, což lze hodnotit dle Tab. č. 19 jako vhodné. Čím více je stanoveno vodíkových iontů, tím je hodnota pH menší. To se potvrdilo při stanovení výměnného pH v CaCl_2 oproti $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$. V posklizňových RFS substrátech vycházelo průměrné $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ 6,7 a $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ 6,4.

Míchání rašeliny s fugátem se jeví jako vhodné i z hlediska obsahu mikroprvků. Rašelina je chudá na živiny, kdežto fugát je na ně bohatý, a při jeho aplikaci je dosahováno obdobných výnosů jako při použití minerálních hnojiv (Nkoa, 2014; Duffková et Mühlbachová, 2016).

Posklizňová vodivost (EC) RFS substrátů byla vyšší než u vstupních substrátů (kromě variant RFS5 a RFS10). Pohybovala se mezi hodnotami 0,370 - 0,560 mS/cm. Dle tohoto můžeme usuzovat, že se živiny v substrátech uvolnily, avšak nebyly rostlinami ve stejné míře spotřebovány. Naměřená hodnota fugátu se slámou vykazovala hodnotu 1,35 mS/cm. Přidáním FS do rašeliny došlo ke snížení vodivosti díky naředění FS málo vodivou rašelinou. Vysokou vodivost naopak vykazoval substrát RPGMIX – 1,95 mS/cm. Předpěstováním bazalky v písku a zasazením sazenic bylo předejito případným problémům s klíčením. Dle výsledků vodivosti ve variantách RFS5 – RFS20 se hodnoty u vstupních substrátů výrazně neměnily (vše okolo 0,330 mS/cm). Z tohoto hlediska by se tak do rašeliny dalo přidat i více fugátu se slámou.

Vodivost u vstupních i posklizňových substrátů lze považovat za vhodnou. Doporučenou vodivost substrátů pro rostliny se středními nebo vyššími nároky na živiny udávají ve své metodice Šrámek a Dubský (2014) 0,2 - 0,65 mS/cm. V této studii dosahovala vodivost RFS vstupních substrátů hodnot v rozmezí 0,300 - 0,360 mS/cm a v posklizňových substrátech v rozmezí 0,245 - 0,560 mS/cm.

Metodou CAD bylo naměřeno největší množství mikroprvků s převahou jejich obsahu v posklizňových substrátech oproti vstupním výsledkům, což je patrné z Tab. č. 13. Pouze bór vykazoval hodnoty posklizňových substrátů nižší než u vstupních výsledků ve variantách RPGMIX, RFS10 a RFS15.

Pozitivní vliv fugátu na obsah mikroprvků se dle předpokladu promítl i do jejich obsahů v RFS substrátech. V některých variantách dosahovaly srovnatelných i vyšších hodnot než kontrolní substráty. Vodným výluhem byly varianty RFS10 – RFS20 po sklizni stanoveny vyšší hodnoty Cu (0,218 - 0,258 mg/kg) než u varianty US (0,194 mg/kg), avšak varianta RPGMIX dosahovala stále nejvyšších hodnot, a to 0,561 mg/kg.

Obsah Fe v RFS substrátech po sklizni pokusu stanovený vodným výluhem se pohyboval v rozmezí 3,90 - 4,74 mg/kg, ve výluhu 0,01 mol/l CaCl_2 v rozmezí 0,760 - 2,18 mg/kg, metodou CAD v rozmezí 338-573 mg/kg a metodou Mehlich 3 v rozmezí 153 - 200 mg/kg.

Hodnota $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ po sklizni pokusu byla nejvyšší u varianty RFS5 (6,92). U této varianty byl metodou Mehlich 3 naměřen současně nejnižší obsah Fe, což mohlo být vyšší rozpustností v kyselějších Fe substrátech, jak uvádí Vaněk et al., (2012) a další autoři. Ačkoliv byl obsah Fe v RFS substrátech dostatečný, nevyrovnal se obsahům kontrolních substrátů.

Dzida, (2010) uvádí, že zvýšený obsah Ca může vést ke snížení koncentrací přístupných forem Mn, Cu a Fe. Ke snížení obsahu těchto prvků pravděpodobně došlo u varianty RFS5 s nejvyšším obsahem vápnitého dolomitu (výluh v 0,01 mol/l CaCl_2 a Mehlich 3). Vaněk et al. (2012) uvádí celkový obsah Mn v půdách, v širokém rozmezí od několika desítek mg Mn/kg

až do desetin procent. Obsah Mn v této studii dosahoval statisticky nejvyšších obsahů v kontrolních substrátech oproti testovaným variantám substrátů RFS. Variantě RPGMIX (s obsahem Mn_{CAD} 62,8 mg/kg) se po sklizni pokusu nejvíce přiblížil obsah Mn v substrátu RFS5, s hodnotou 61,4 mg/kg, avšak US stále dosahoval hodnot až 0,6× vyšších.

Marschner, (2012) ve své studii uvádí průměrné koncentrace minerálních prvků v sušině rostlin dostatečné pro adekvátní růst (Tab. č. 20). Dále tvrdí, že tyto hodnoty se mohou značně lišit v závislosti na druhu rostlin, stáří rostlin a koncentracích dalších minerálních prvků.

Železo, zinek a nikl dosahovaly po sklizni pokusu v rostlinách vyšších hodnot obsahu prvků v RFS substrátech než jsou průměrné koncentrace, které uvádí Marschner, (2012), avšak žádná z hodnot RFS substrátů nebyla vyšší než současně oba kontrolní substráty (RPGMIX a US).

Obsah železa v rostlinách pěstovaných v RFS substrátech činil průměrně 155 mg/kg, avšak v porovnání s kontrolními substráty (US a RPGMIX) to bylo méně, proto se kontrolní substráty jeví jako vhodnější.

Obsah mědi v rostlinách testovaných v RFS substrátech se pohyboval okolo 2,76 mg/kg, avšak kontrolní substrát RPGMIX dosahoval až 3× vyšších hodnot. V porovnání s průměrnými koncentracemi z Tab. č. 20, ani kontrolní US (3,32 mg/kg) nedosáhl podobných koncentrací.

Nejvyšších hodnot dosahoval zinek v substrátu RPGMIX - 70,9 mg/kg, dále varianty RFS - 65,0 mg/kg a nejméně kontrolní US 48,9 mg/kg. Obsah Zn v rostlinách pěstovaných v RFS substrátech se proto jeví jako vhodný.

Obsah manganu v rostlinách pěstovaných v RFS substrátech činil pouze 28,1 mg/kg, zatímco u obou kontrolních substrátů dosahoval hodnot cca 100 mg/kg (US – 97,0 mg/kg, RPGMIX – 101 mg/kg). Proto se kontrolní substráty jeví jako vhodnější.

Obsahy bóru a molybdenu v rostlinách nebyly kvůli nízkým hodnotám zpravidla detekovatelné.

Nejvyšší obsah niklu byl naměřen u kontrolního substrátu RPGMIX – 0,877 mg/kg, dále ve variantách RFS substrátů 0,758 mg/kg a nejméně (avšak dostatečně v porovnání s průměrnými koncentracemi) v substrátu US – 0,489 mg/kg. V tomto případě dosahovaly testované substráty optimálních hodnot.

Tab. č. 20: Průměrné koncentrace minerálních prvků v sušině rostlin dostatečné pro adekvátní růst, upraveno dle Marschner, (2012)

| Prvek | Fe | Cu | Zn | Mn | B | Mo | Ni |
|--------------|-----|----|----|----|----|-----|-----|
| mg/kg | 100 | 6 | 20 | 50 | 20 | 0,1 | 0,1 |

Přestože byly obsahy mikroprvků v sušině nadzemní hmoty rostlin v normálu, výnos sušiny bazalky byl v RFS substrátech oproti substrátu US až 4,5× nižší. Nejvyšší výnos sušiny z RFS substrátů vykazovala varianta RFS10, která však nebyla statisticky rozdílná od ostatních RFS substrátů. Nejvyšší % sušiny bylo naměřeno u varianty RFS5. Z Obr. č. 1 je zřejmý rozdíl růstu bazalky u variant US a RPGMIX oproti testovaným variantám RFS substrátů.

Obr. č. 1: Varianty pěstebních substrátů, zprava v řadách: US, RPGMIX, RFS5, RFS10, RFS15, RFS20



Ukázalo se, že z hlediska mikroprvků, je směs FS vhodnou alternativou minerálních hnojiv. Nízké výnosy bazalky testovaných RFS substrátů tak pravděpodobně způsobil některý z makroprvků, které jsou však předmětem sledování v rámci jiné bakalářské práce.

8 Závěr

Cílem této práce bylo vyhodnocení vlastností substrátů složených z rašeliny, fugátu a slámy a vápnatého dolomitu (RFS substráty) z hlediska pH a obsahu přístupných mikroprvků a dále nalezení nejvhodnější kombinace těchto materiálů pro pěstování bazalky pravé. RFS substráty byly srovnávány s kontrolními substráty (US a RPGMIX).

Dle předpokladu přídavek fugátu se slámou a vápnatého dolomitu ovlivnil pH rašeliny, ale i obsah přístupných mikroprvků. Postupné uvolňování Ca z vápnatého dolomitu pravděpodobně způsobilo zvýšení hodnoty pH, které vedlo k dosažení optimální hodnoty v substrátech po sklizni pokusu.

Po sklizni pokusu byly vyhodnoceny obsahy přístupných mikroprvků v substrátu. Ty byly především v případě metody CAD vyšší než obsahy při založení pokusu. To bylo pravděpodobně způsobeno postupným uvolňováním mikroprvků do přístupných forem a v případě RFS substrátů i průkazně nižšími odběry rostlinami.

Bylo zjištěno, že nejvhodnější kombinace pro pěstování bazalky, v porovnání RFS substrátů, byla z hlediska výnosu sušiny varianta RFS10, přestože obsahovala nejméně mikroprvků. Výnosy kontrolních substrátů však byly prokazatelně vyšší. Pouze zinek a nikl dosahovaly vyššího obsahu v sušině rostlin než substrát US, nicméně žádný z prvků se nevyrovnal variantě RPGMIX. Variantu RFS10 následovaly varianty RFS15, RFS20 a RFS5.

Nižší výnos sušiny RFS substrátů způsobil pravděpodobně deficit, popřípadě nadbytek některého z makroprvků. Příjem některých mikroprvků mohl být negativně ovlivněn vysokým množstvím amonného dusíku, který se ve fugátu nachází. Tato hypotéza se částečně potvrdila i nižšími odběry mikroprvků u RFS substrátů.

Přidání fugátu se slámou do rašeliny jako zdroje přístupných mikroprvků se tedy ve většině případů ukázalo jako vhodné řešení.

9 Literatura

- Barampouti, E. M., Mai, S., Malamis, D., Moustakas, K., Loizidou, M. 2020. Exploring technological alternatives of nutrient recovery from digestate as a secondary resource: Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier. (110379). 134. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110379. ISSN: 13640321.
- Bedrna Z. 1989. Substráty na pestovanie rastlín – základy pestovania. 1. vyd. Príroda, Bratislava.
- Bigelow, C., D. Bowman, and D. Cassel. 2004. Physical properties of three sand size classes amended with inorganic materials or sphagnum peat moss for putting green rootzones. Crop Sci. 44:900–907.
- Carlsson, M., Naroznova, I., Møller, J., Scheutz, C., Lagerkvist, A. 2015. Importance of food waste pre-treatment efficiency for global warming potential in life cycle assessment of anaerobic digestion systems. Resources, Conservation and Recycling. 102. 58-66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.06.012>. ISSN: 0921-3449.
- Crippa L., Zaccheo P., Orfeo D. (2013): Utilization of the solid fraction of digestate from anaerobic digestion as container media substrate. Acta Horticulturae (ISHS), 1013: 367–373.
- CZBA Česká bioplynová asociace. 2019. [online]. [cit. 2022-2-10]. Dostupné z: <https://www.czba.cz/>
- ČSN 83 9001: Sadovnictví a krajinářství – Terminologie – Základní odborné termíny a definice. Český normalizační institut, Praha, 1999. 24 s.
- Dohányos, M., Ciahotný, K., Kopečný, J., Štambaský, J., Matějka, J. 2011. Implementační akční plán pro obor bioplyn. CZBA Česká bioplynová asociace. České Budějovice.
- Dostál, J., Richter, R. 2008. Porovnání kvality kejdy s digestátem z bioplynových stanic a jejich využití ke hnojení zemědělských plodin. In: Sborník ze semináře „Kukuřice v praxi 2008“. 35-46 s. ISBN 9788073751357.

- Dubský M., Chaloupková Š., Kaplan L., Vondráčková S., Tlustoš P. (2019): Use of solid phase of digestate for production of growing horticultural substrates . Hort. Sci. (Prague), 46: 34-42. <https://doi.org/10.17221/221/2016-HORTSCI>
- Duffková, R., Mühlbachová, G., a kol. (2016). Metodický postup pro efektivní užití digestátu ze zemědělských bioplynových stanic. Certifikovaná metodika.
- Dzida, K.: Nutrients contents in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) herb depending in calcium carbonate dose and cultivar, *Acta Scientiarum polonorum, Hortorum Cultus*, Lublin, 9(4) 2010, s. 143 – 151.
- El-Mahrouk, Dewir YH, El-Hendway S (2017) Utilization of Grape Fruit Waste-based Substrates for Seed Germination and Seedling Growth of Lemon Basil. *HortTechnology* 27:523-529. doi: 10.21273/HORTTECH03761-17.
- Excel. Microsoft Office Excel 2007. Microsoft office Enterprise 2007. USA. release SP2.
- Frischmann P., 2012, Enhancement and treatment of digestates from anaerobic digestion, Desk top study on digestate enhancement and treatment.
- Herrera, F., J. E. Castillo, A. F. Chica, and L. López Bellido. 2008. Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing medium in the nursery production of tomato plants. *Bioresource Technology* 99:287–296.
- Holm-Nielsen, J. B., Seadi, T. A., Oleskowicz-Popiel, P. 2009. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. *Bioresource Technology*. 100 (22). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.046>. ISSN: 0960-8524.
- Houba VJG, Novozamsky I., Lexmond TM, Van der Lee JJ (1990) Applicability of 0.01 M CaCl₂ as a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 21:2281-2290.
- Jeřábková, J., Duffková, R. 2019. Využití digestátu jako hnojiva. *Biom.cz* [online]. [cit. 2022-1-17]. ISSN: 1801-2655. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-digestatu-jako-hnojiva>

- Kára, J., Pastorek, Z., Příbyl, E. 2007. Výroba a využití bioplynu v zemědělství [online]. In: . VÚZT. Praha. s. 4-11. [cit. 2022-1-17]. ISBN: 978-80-86884-28-8. Dostupné z: www.vuzk.cz
- Kreißig, J., Corden, C., Bougas, K., Cunningham, E., Tyrer, D. 2019. Digestate and compost as fertilisers: Risk assessment and risk management options. Final Report. Wood Environment & Infrastructure Solutions UK Limited.
- Landis, T.D. 1990. Growing media, p. 41–85. In: T.D. Landis, R.W. Tinus, S.E. McDonald, and J.P. Barnett (eds.). The container tree nursery manual. Vol. II. Container and growing media. U.S. Dept. Agr., For. Serv., Washington, DC.
- Lea-Cox, J. D., Smith, I. E. 1997. The interaction of air-filled porosity and irrigation regime on the growth of three woody perennial (citrus) species in pine bark substrates. Proc. Southern Nurs. Assoc. Res. Conf. 169-174.
- 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.
- Maher, M., M. Prasad, and M. Raviv. 2008. Organic soilless media components. In Soilless culture: Theory and practise, ed. M. Raviv and J. H. Lieth, 459-504. Oxford: Elsevier.
- Manyi-Loh, C. E., Mamphweli, S. N., Meyer, E. L., Okoh, A. I. 2019. Microbial anaerobic digestion: process dynamics and implications from the renewable energy, environmental and agronomy perspectives. International Journal of Environmental Science and Technology. 16 (7). DOI: 10.1007/s13762-019-02380-w. ISSN: 17351472.
- Marada, P., Večeřová, V., Kamarád, L., Dundálková, P., Mareček, J., (2008). Příručka pro nakládání s digestátem a fugátem. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Institut celoživotního vzdělávání ve spolupráci s Ústavem zemědělské, potravinářské a environmentální techniky.
- Matějka, J., Štambaský, J., Dohányos, M., Mareš, J., Nobilis, L., Kajan, M. 2017. Technologický foresight 2020 – 2040. Česká bioplynová asociace. TP Bioplyn 3.

- McClellan, T. 2022. Schopnost rostlin přijímat živiny v různém pH. University of Hawai'i - College of Tropical Agriculture and Human Resources: Soil Nutrient Management for Maui County [online]. [cit. 2022-4-18]. Dostupné z: https://www.ctahr.hawaii.edu/mauisoil/c_acidity.aspx
- Mehlich, A.: Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15, 1984, s. 1409-1416.
- Minasny, B., McBratney A. B., Brough, D. M., Jacquier, D., 2011, Models relating soil pH measurements in water and calcium chloride that incorporate electrolyte concentration, University of Sydney, Australia, p. 728 – 732.
- Nkoa, R. 2014. Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: a review. *Agron Sustain Dev*, 34:473-492.
- A. P. Restrepo, E. Medina, A. Pérez-Espinosa, E. Agulló, M. A. Bustamante, C. Mininni, M. P. Bernal & R. Moral (2013) Substitution of Peat in Horticultural Seedlings: Suitability of Digestate-Derived Compost from Cattle Manure and Maize Silage Codigestion, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44:1-4, 668-677, DOI: 10.1080/00103624.2013.748004.
- Roman, P. 2019. Praha zvažuje stavbu městské bioplynové stanice. *Třetí ruka.cz* [online]. České ekologické manažerské centrum. [cit. 2022-2-12]. Dostupné z: <https://www.tretiruka.cz/news/praha-zvazuje-stavbu-mestske-bioplynovy-stanice/>
- Schmilewski, G. (2008). The role of peat in assuring the quality of growing media. *Mires and Peat*. 3. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/26841900_The_role_of_peat_in_assuring_the_quality_of_growing_media
- Strnad, M. 2015. Minerální výživa rostlin. Laboratory of Growth Regulators UP Olomouc & IEB AS CR: Cvičení z fyziologie rostlin [online]. Created by IZON. [cit. 2022-3-26]. Dostupné z: http://www.rustreg.upol.cz/_materials/fyziologie_rostlin/FZRSB_Mineralni_vyziva.pdf
- Šrámek, F. a Dubský, M. Certifikovaná metodika č. 1/2014-053: Hodnocení střešních substrátů a jejich zařazení do systému typových substrátů definovaných ve Vyhlášce 131/2014 Sb. Zpracovaná v rámci řešení projektu TAČR TA01020252 Nové komponenty pro střešní substráty. Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v.v.i. 252 43 Průhonice Česká republika, 2014, 24 s.

Dostupné také z:

https://www.vukoz.cz/dokumenty/053/metodika_stresni_substraty.pdf

- StatSoft. 2017. Statistica. StatSoft Inc. 1984-2013 s.r.o. ver. 12 Praha. Česká republika.
- Švec, J., et al.; Využití obnovitelných zdrojů energie v zemědělství – zemědělské bioplynové stanice, Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2010, 69 s., ISBN-978-80-86832-49-4.
- Vaněk, V., Balík, J., Němeček, R., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 1998. Výživa a hnojení polních plodin, ovoce a zeleniny. I. Vydáno redakcí časopisu Farmář – zemědělské listy. ISBN: 80-902413-1-X.
- Tlustoš, P., Kaplan, L., Dubský, M., Bazalová, M., Száková, J. (2014): Stanovení fyzikálních a chemických vlastností pevných a kapalných složek digestátu bioplynových stanic. Certifikovaná metodika. ČZU v Praze, Vydavatelství powerprint s.r.o., Praha Suchdol, ISBN: 978-80-213-2513-5, 25 s. (Výstup NAZV QJ1210085).
- Tlustoš, P., Dubský, M., Kaplan, L., Habart, J., Chaloupková, Š. 2016. Pěstební substráty s komponenty na bázi separátů: Certifikovaná metodika. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. ISBN: 978-80-213-2711-5.
- ÚKZÚZ Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. 2016. Digestáty a jejich využití v zemědělství [online]. Ministerstvo zemědělství. [cit. 2022-2-10]. Dostupné z: <eagri.cz>https://eagri.cz/public/web/file/458518/Digestaty_final2_WEB_optim.pdf
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2007. Výživa polních a zahradních plodin. Profi Press. s.r.o. Praha. 167 s. ISBN: 976-80-86726-25-0.
- Váňa, J. 2009. Bioplynové stanice na využití bioodpadů. Bioodpad-Bioplyn-Energie. České ekologické manažerské centrum. Praha 2009.
- Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera, J. 2012. Výživa zahradních rostlin. Academia. Praha. 570 s. ISBN 9788020021472.
- Vítek. 2017. Půda a pěstební substráty: Klasické a moderní komponenty substrátů, jejich vlastnosti a použití. Česká zemědělská univerzita v Praze [online]. [cit. 2022-4-2]. Dostupné z:

https://home.czu.cz/storage/443/62520_V_P%C5%AEDA%20A%20P%C4%9ASTE%20BN%C3%8D%20SUBSTR%C3%81TY.pdf

- Vítěz T. 2013. Mineralogicko-chemická charakteristika fermentačních zbytků při výrobě bioplynu a možnosti jejich využití pro zlepšení vlastnosti půd.
- Wiedenhoeft, AC. 2006. Plant nutrition. Chelsea house Publisher, New York. ISBN 0-7910-8564-3, 572'.42—dc22

