

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



Využití neseparovaného digestátu jako zdroje fosforu pro zahradní rostliny

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Denisa Kujanová

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

© 2016 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Využití neseparovaného digestátu jako zdroje fosforu pro zahradní rostliny" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 6. 4. 2016

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu mé práce Ing. Martinu Kulhánkovi Ph.D. za velkou nápomoc při analýze vzorků a výsledků, za cenné rady, připomínky, informace a též za velkou dávku trpělivosti a celkovou pomoc při tvorbě této práce.

Využití neseparovaného digestátu jako zdroje fosforu pro zahradní rostliny

Souhrn

Nástup moderního trendu obnovitelných zdrojů byl nevyhnutelným vyvrcholením vývoje civilizace. Lidstvo se učí více využívat zdroje nevyčerpatelné oproti ztenčování zásob neobnovitelných zdrojů. Mezi zprostředkovatele obnovitelných zdrojů energie patří také bioplynové stanice, jejichž hlavní funkcí je výroba bioplynu. Bioplyn vzniká procesem anaerobní fermentace bez přístupu kyslíku v uzavřených nádržích. Jako vstupní substráty do zemědělských bioplynových stanic jsou užívány bioodpady, kejda dobytka nebo například energetické traviny. Proces vzniku bioplynu na svém konci přináší fermentační zbytek neboli digestát. Jeho složení je závislé na vstupních složkách pro výrobu bioplynu.

Digestát je směs velmi bohatá nejen na fosfor, ale i další živiny, s vysokou hodnotou pH. Existuje mnoho studií zabývajících se teorií i praxí aplikace digestátu na půdu, za účelem zlepšení jejich vlastností a využití digestátu. Podobný cíl má i tato diplomová práce, jež zkoumá kombinace neseparovaného digestátu s rašelinou a vápnatým dolomitem, se snahou vytvořit vhodný substrát pro různé druhy rostlin, z hlediska obsahu přístupného fosforu.

V rámci pokusů byly v letech 2011 až 2015 využity tyto rostliny: Gazanie zářivá (*Gazania rigens*), Bazalka pravá (*Ocimum basilicum*) a Máta peprná (*Mentha piperita*). Jako kontrolní substráty byly použity tyto varianty: Pěstební substrát B, Gramoflor a Zahradnický substrát Primaflora. S rašelinou byl kombinován neseparovaný digestát v poměrech: 5, 10, 15, 20, 25 % objemových. V určitých letech byl za účelem stabilizace hodnot pH přidáván také vápnatý dolomit v dávkách 3, 6, 10, 15 g/l.

Z výsledků práce vyplývá pozitivní vliv digestátu na vlastnosti substrátu, jako je např. hodnota pH (s možným přídavkem vápence pro stabilizaci) či sušina. Digestát se jeví jako vhodný zdroj fosforu pro rostliny. Z hlediska výnosu nadzemní hmoty dosáhl nejvyšších hodnot kontrolní substrát Gramoflor, z testovaných substrátů to byl nejčastěji substrát s 10 % digestátu (ve dvou letech s dávkou dolomitu 6 a 15 g/l). Nejvyššího procentuálního zastoupení sušiny rostlin dosahovaly v průměru kontrolní substráty.

Klíčová slova: substráty; neseparovaný digestát; rašelina; zahradní rostliny; makroprvky

Using of unseparated digestate as a phosphorus source for garden plants

Summary

The advent of the modern trend of renewable resources was inevitable culmination of the development of civilization. Mankind learns more about use inexhaustible resources compared to depletion of reserves of non-renewable resources. Providers of renewable energy sources also include a biogas plant, which main function is the production of biogas. Biogas is produced in reactors by process of anaerobic fermentation without oxygen. As input for an agricultural biogas plants organic waste, cattle manure or for example energy grasses are used. The process of biogas production has the leftover of the fermentation at its end, so called digestate. Its composition depends especially on the inputs.

Digestate is a compound with high pH which is very rich not only for phosphorus but also for other nutrients. There are many studies dealing with the theory and practice of using digestate on the field for improving its properties and of other digestate usage. This diploma thesis has aim to explore combinations of unseparated digestate with peat and dolomite limestone with an effort to create a suitable substrate for different types of plants in terms of accessible phosphorus content.

During the experiment following plants were used between the years 2011 and 2015: *Gazania rigens*, *Ocimum basilicum* and *Mentha piperita*. For a control substrates following variants were used: Different types of commonly used growing substrates as the controls; peat combined with unseparated digestate in proportions of 5, 10, 15, 20, 25 % volume. In selected years dolomite limestone was also added in doses of 3, 6, 10, 15 g/l to stabilize pH.

The results of the work show a positive effect of the digestate on the substrate properties as for example pH value (with possible addition of limestone for stabilization) or dry matter. Digestate appears to be a suitable source of phosphorus for plants. In terms of the above-ground biomass yield of plants reached its maximum value at the control substrate Gramoflor. From the tested substrates it was in the most cases the substrate with 10 % digestate (in two years with doses of 6 a 15 g/l). Highest percentage of dry matter reached usually the control substrates.

Keywords: substrates; unseparated digestate; the peat; garden plants; makro-nutrients

Obsah

Obsah.....	6
1. Úvod.....	8
2. Cíl práce.....	9
3. Hypotéza	10
4. Literární rešerše	11
4.1 Bioplynové stanice	11
4.1.1 Historie BPS.....	11
4.1.2 Bioplynové stanice – aktuální situace v ČR.....	11
4.1.3 Typy bioplynových stanic.....	12
4.2 Anaerobní fermentace.....	13
4.2.1 Vliv skladby na výtěžnost	13
4.2.2 Vstupní substráty a jejich vlastnosti	14
4.2.3 Postup procesu	15
4.3 Digestát.....	18
4.3.1 Vlastnosti	18
4.3.2 Druhy digestátu.....	19
4.3.3 Digestát jako odpad	20
4.3.4 Digestát jako hnojivo	20
4.3.5 Skladování	21
4.3.6 Legislativa.....	22
4.4 Pěstební substráty.....	23
4.4.1 Substráty složené z neseparovaného digestátu	23
4.4.2 Běžné pěstební substráty.....	24
4.5 Fosfor.....	24
4.5.1 Koloběh fosforu	25
4.5.2 Využití fosforu rostlinou	26
4.5.3 Fosfor v digestátu	26
5. Metodika	28
5.1 Pokusy v roce 2011	28
5.1.1 Bazalka pravá (<i>Ocimum basilicum</i> , L.)	28
5.1.2 Gazánie zářivá (<i>Gazania rigens</i> , L.)	29
5.2 Pokusy v roce 2012	29
5.2.1 Bazalka pravá (<i>Ocimum basilicum</i> , L.)	29
5.2.2 Gazánie zářivá (<i>Gazania rigens</i> , L.)	29
5.2.3 Máta peprná (<i>Mentha piperita</i> , L.)	30

5.3	Pokusy v roce 2013	30
5.3.1	Gazanie zářivá (<i>Gazania rigens</i> , L.)	30
5.3.2	Máta peprná (<i>Mentha piperita</i> , L.)	31
5.4	Pokusy v roce 2014	31
5.4.1	Bazalka pravá (<i>Ocimum basilicum</i> , L.)	31
5.5	Pokusy v roce 2015	32
5.5.1	Máta peprná (<i>Mentha piperita</i> , L.)	32
5.6	Provedené analýzy	33
5.7	Stanovení obsahu přístupného fosforu metodou Mehlich 3	33
5.8	Stanovení obsahu přístupného fosforu metodou CAT	33
5.9	Stanovení hodnoty pH	34
5.10	Analýzy rostlin	34
5.11	Zpracování výsledků	34
6.	Výsledky	35
5.12	Vstupní charakteristiky	35
5.13	Bazalka pravá (<i>Ocimum basilicum</i> , L.)	37
5.14	Gazanie zářivá (<i>Gazania rigens</i> , L.)	44
5.15	Máta peprná (<i>Mentha piperita</i> , L.)	50
7.	Diskuze	56
8.	Závěr	60
9.	Seznam literatury	62
10.	Seznam obrázků	70
11.	Seznam tabulek	70
12.	Seznam grafů	71

1. Úvod

V současné době, kdy se populace vyvíjí stále rychleji a dynamičtěji a spolu s ní jdou kupředu technologie, inovace a novinky, vzniká také velké množství odpadů a ubývají neobnovitelné zdroje energie. V posledních desetiletích je znatelný nástup obnovitelných zdrojů energie, jako jsou sluneční elektrárny, tepelná čerpadla, větrné elektrárny a podobně. Mezi obnovitelné zdroje patří také produkty bioplynových stanic. Tato zařízení zpracovávají odpady v různých kombinacích za účelem získání bioplynu, který lze využít jako zdroj energie a také tepla. Nejčastěji jsou stavěny při zemědělských podnicích, které zpracovávají vlastní odpady a zpětně z nich získávají již zmíněnou energii a teplo v případě rekuperačních jednotek.

Současná generace má snahu vytěžit co nejvíce z nepřeberného množství odpadů, které je lidstvem produkováno. Je kladen velký důraz na třídění jednotlivých složek odpadů, na recyklaci, zpracování druhotných surovin nebo v nejlepším případě na bezodpadové technologie. Novým trendem se též stává myšlenka „zero waste“.

Bohužel ani bioplynové stanice nejsou bezodpadové. Fermentační zbytek z těchto provozů se nazývá digestát a jeho složení závisí na použitých surovinách pro výrobu bioplynu. Surovinou bývá obvykle kejda skotu, energetické rostliny nebo odpadní biomasa. Podle složení digestátu se s ním dále nakládá. Po úpravě přichází v úvahu jeho aplikace na zemědělskou i nezemědělskou půdu jako hnojivo či po jeho separaci na tuhou (separát) a tekutou (fugát) část užití separátu na kompostování.

V posledních letech značně narůstá počet bioplynových stanic a s tím se zvyšuje i množství vyprodukovaného digestátu. V rámci udržitelného rozvoje, kdy je snaha o snižování odpadů a odpadních zbytků, je nutné najít určité jisté a trvalé využití digestátu. Je nutné využít jeho pozitivní vlastnosti a vrátit živiny do koloběhu s co nejnižším nevyužitým zbytkem. Prozkoumat možnosti neseparovaného digestátu a jeho využití v různých kombinacích s rašelinou jako substrátu pro rostliny je proto cílem této diplomové práce.

2. Cíl práce

Cílem práce je srovnání substrátů složených z neseparovaného digestátu s běžným pěstebním substrátem u různých zahradních plodin se zaměřením na sledování změn obsahů přístupných forem fosforu celkového P v rostlinách.

3. Hypotéza

Rašelina je substrát chudý na živiny, a proto jsou živiny doplňovány minerálními hnojivy. Jednou z možností je doplnění živin pomocí přídatku neseparovaného digestátu. Předpokládá se, že přídatek neseparovaného digestátu zvýší obsah živin (zejména N, P a K) a zároveň i pH rašeliny. Vznikne tak vhodný substrát pro pěstování široké škály zahradních rostlin. Dalším předpokladem je, že zvýšení pH přídatkem digestátu bude pouze dočasné. Proto bude třeba dodat do substrátu vápenec ke stabilizaci hodnoty pH.

4. Literární rešerše

4.1 Bioplynové stanice

Bioplynové stanice (BPS) mají oproti využívání řepkového oleje či etanolu jednu hlavní přednost. K získání této energie lze využít odpadní biomasu. Nejsou zde potom nutné nároky na energii, která je potřebná pro pěstování energetických plodin (Jelínek et al., 2001).

4.1.1 Historie BPS

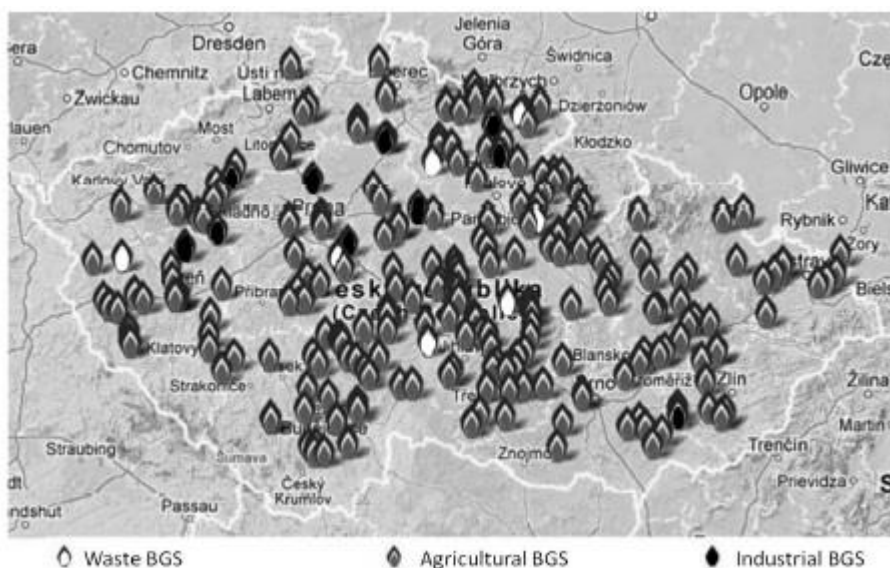
Počátky zařízení na výrobu bioplynu lze datovat do přelomu 19. a 20. století, ale první záznamy o debatách o možnostech výroby bioplynu se objevily ještě dříve. Historické bioplynové stanice se nacházely na čistírnách odpadních vod, kde se využíval vznikající bioplyn pro osvětlení a vytápění. První anaerobní bioplynová stanice byla postavena v kolonii malomocných v Bombaji v roce 1859. Do Anglie dorazila anaerobní digesce v roce 1895, kde byly bioplynové stanice optimalizovány též pro čištění odpadních vod a bioplyn byl používán jako palivo do pouličních lamp. Intenzivnější výzkum v oblasti anaerobní fermentace začal v roce 1930 (Kučera et Bednář, 2014).

4.1.2 Bioplynové stanice – aktuální situace v ČR

Produkce bioplynu, jakožto vhodného zdroje obnovitelné energie, v poslední době narůstá, což lze dokladovat zvyšujícím se počtem bioplynových stanic nejen v České republice, ale i v okolních zemích. V roce 2005 bylo v ČR provozováno pouze 8 zemědělských stanic z celkového počtu 133. Celkově 82 stanic bylo na čistírnách odpadních vod, 34 se užívalo k čerpání skládkového plynu a dále bylo v provozu 9 průmyslových stanic. Začátkem roku 2014 bylo v provozu přibližně 500 BPS různých kategorií, z čehož bylo více než 300 zemědělských, viz obrázek číslo 1 (Tlustoš et al., 2014).

S tím je spojena také zvýšená produkce digestátu a otázky způsobu jeho využití. Mezi surovinami zpracovávanými v bioplynových stanicích je biomasa rostlinného původu (sláma, siláž, apod.) nebo živočišného původu (odpady z živočišné výroby, hnůj, kejda apod.), tj. biologicky rozložitelný odpad. Fermentační zbytek, digestát, se v současné době využívá jako hnojivo v rostlinné výrobě nebo po separaci jako tuhá složka při výrobě kompostů (Kára et Koutný, 2009).

Proces fermentace přináší velké ztráty hlavně organického uhlíku, kdy je 24 – 95% sušiny organických látek přetransformováno do metanu (CH₄) a CO₂ (Dostál et al., 2014).



Obr. č. 1: Mapa bioplynových stanic v ČR (Kučera a Bednář, 2014).

4.1.3 Typy bioplynových stanic

Dělení bioplynových stanic je možné z více hledisek. Je nutno vzít v potaz vlastnosti materiálu, dávkování, vlhkost a velikost částic materiálu. Primárním dělením je pak řazení dle druhu zpracovávaného substrátu na čistírenské, zemědělské a ostatní.

Další dělení, například podle dávkování materiálu na semikontinuální, diskontinuální, kontinuální a dále dle podílu vlhkosti materiálu na bioplynové technologie ke zpracování tekutých, tuhých materiálů a kombinované (Jelínek et al., 2001).

4.1.3.1 Čistírenské

Typ čistírenských bioplynových stanic zpracovává pouze kal z provozu čistíren odpadních vod a je jejich nedílnou součástí. Postupy anaerobní digesce jsou využívány pro stabilizaci kalu, jež vzniká v čistírnách odpadních vod. Tento typ bioplynových stanic není určen pro zpracování bioodpadů a k nakládání s odpadem. Jediným materiálem v čistírenských bioplynových stanicích jsou kaly z čistíren, septiků apod. a odpadní voda (Auterská, 2010).

4.1.3.2 Zemědělské

Zemědělskými bioplynovými stanicemi se nazývají takové druhy zařízení, které zpracovávají materiál rostlinného charakteru a statkových hnojiv.

V těchto stanicích nelze zpracovat odpady dle zákona 185/2001 Sb., o odpadech, a ani další materiály, jež spadají pod Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č.1774/2002 o vedlejších živočišných produktech (Auterská, 2010).

4.1.3.3 Ostatní

Ostatní bioplynové stanice zpracovávají vstupy jako například bioodpady. Jestliže tyto stanice zpracovávají vedlejší živočišné produkty, je nezbytné řídit se Nařízením Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002 a musí splňovat podmínky jím stanovené, mezi které patří například hygienizace (Auterská, 2010).

4.2 Anaerobní fermentace

Způsob zpracování anaerobní fermentací patří k energetickému využití odpadní biomasy, neboť energii je možno získat z biomasy termochemickou nebo biochemickou přeměnou (Straka et al., 2006).

Jestliže jsou organické látky ponechány bez přístupu vzduchu (za rozkladu bakteriemi), vytváří se bioplyn (Kratochvílová et al., 2009).

Bioplyn je složen z velké části hlavně z metanu (CH_4) a oxidu uhličitého (CO_2) v poměru přibližně 6:4 a dalších látek, mezi které se řadí oxid siřičitý (SO_2), vodík, kyslík a dusík. Proměnlivou složkou bioplynu je potom vodní pára (H_2O) (Jelínek et al., 2001).

4.2.1 Vliv skladby na výtěžnost

Hlavními skupinami organických látek, které poskytují v procesu anaerobní fermentace bioplyn, jsou tyto tři:

- a) polysacharidy,
- b) proteiny (bílkoviny),
- c) lipidy.

Polysacharidy celulóзовého a hemicelulóзовého typu jsou v anaerobní fermentaci rozkládány nejpomaleji, zato jsou vydatným zdrojem bioplynu. Souhrnným rysem skupiny polysacharidů je nižší koncentrace metanu v bioplynu, jež je dána relativně vysokým obsahem kyslíku v polysacharidech. Hodnocení využitelnosti polysacharidových substrátů, hlavně rostlinného původu je do jisté míry ztěžováno přítomností ligninu. Lignin ve větším množství ztěžuje přístup štěpících enzymů k polysacharidické struktuře a zpomaluje tak jejich rozklad.

Hlavní složkou skupiny lipidů jsou triacylglyceroly dlouhých mastných kyselin. Tyto substráty vykazují velmi vysoké výtěžky metanu a také jeho vysoké koncentrace v bioplynu. Problémem u této skupiny je technologické zvládnutí celkového rozkladu tuků, které mají tendenci vyplouvat k hladině a oddělovat se od vodné fáze nebo zvyšovat tvorbu pěny.

Proteiny se řadí mezi dobře biologicky rozložitelné složky. Ze všech tří hlavních zdrojových skupin je pouze tato bohatá na druhé a třetí heterocyklické sloučeniny ve strukturách. Kromě vodíku, uhlíku a kyslíku je zde síra a hlavně dusík (Straka et al., 2007).

4.2.2 Vstupní substráty a jejich vlastnosti

Vstupní substráty lze dělit do těchto kategorií: rostlinné suroviny, exkrementy hospodářských zvířat a odpadní materiály (Kára et al., 2007).

Odpadní biomasa může být biozplynována po vhodně stanovené mechanické úpravě a po optimalizaci chemických jakostních znaků a při správné volbě technologií anaerobního vyhnívání (Straka et al., 2006). Optimálními jakostními znaky odpadní biomasy využívané pro biozplynování, jsou teplota materiálu a vlhkost, pH, poměr látek C:N a zamezení přístupu inhibitorů do materiálu (Váňa et Slejška, 1998).

Anaerobní fermentace dle teoretického hlediska probíhá při vyšší než 50% vlhkosti materiálu. Její přítomnost je podmíněna nástupem první fáze procesu – hydrolyzy (Jelínek et al., 2001). Optimální hodnota sušiny v biomase u mokřých procesů bývá 10 %, a u suchých 30 - 35 %. Při nižších hodnotách se začínají zvyšovat technologické ztráty tepla, při vyšších hodnotách sušiny je proces postupně zpomalován pro nedostatečné množství vody.

Vhodná teplotní pásma se rozdělují dle různých kmenů bakterií. Bakterie psychrofilní mají vhodnou teplotu 15 – 20 °C, mezofilní 35 – 40 °C a termofilní 55 °C (Kára et al., 2007). Pokud teplota klesne pod 4°C činnost „plynotvorných“ bakterií ustává, jestliže dojde k překročení 60 °C, nastanou inhibiční účinky (Straka et al., 2006).

Ve stanicích pro zpracovávání zemědělské a komunální biomasy se nejčastěji používají mezofilní teplotní režimy. Psychrofilních teplot je využíváno při jímání bioplynu z velkých neregulovaných nádrží a lagun. Volba provozní teploty je závislá na zvoleném režimu práce fermentoru a je nutné ji přísně dodržovat, jelikož metanogenní bakterie jsou citlivé na prudké kolísání teplot (Jelínek et al., 2001).

Pro správný náběh a provoz fermentoru je nutností hodnota pH materiálu od 4,5 do 8,0, optimum je proměnlivé s jednotlivými fázemi procesu. Metanogenní bakterie vyžadují pH 6,7 – 7,6. Vysoká kyselost materiálu (pH 5) působí na bakterie inhibičně (Váňa et Slejška, 1998).

Za ideální poměr uhlíkatých a dusíkatých látek v materiálu je určen poměr 20 až 30:1. Je možné ho upravovat mísením materiálů nebo chemickými přísadami (Kára et al., 2007). Inhibiční účinky na metanogenní bakterie vykazuje kyslík, nízké pH, vysoký obsah dusíkatých látek v poměru k uhlíkatým látkám, baktericidní léčiva a podobně (Kratochvílová et al., 2009).

Největší množství materiálů, které jsou vhodné k výrobě bioplynu, je produkováno v zemědělství. Patří mezi ně exkrementy hospodářských zvířat, vedlejší produkce rostlinné výroby a cíleně pěstované druhy energetických plodin. Značné množství biomasy je též vyprodukováno v navazujícím potravinářském průmyslu. Velký potenciál pro energetické využití představují též biologicky rozložitelné komunální odpady. Produkovanou biomasu je možné rozdělit na dvě základní oblasti:

- biomasa účelně pěstovaná: energetické plodiny (např.: triticales, křídlatka, čirok, šťovík), olejnin (řepka olejná), obilí, brambory, cukrová řepa a třtina,
- biomasa odpadní: rostlinné zbytky (zemědělská prvovýroba, údržba krajiny), zbytky z živočišné výroby (exkrementy, zbytky krmiv), biologicky rozložitelné komunální odpady, organické odpady z potravinářské a průmyslové výroby, lesní odpad (Mužík et Kára, 2008).

4.2.3 Postup procesu

Proces vzniku bioplynu je biologickým rozkladem organických látek s názvem anaerobní fermentace, anaerobní digesce, biometanizace a další. V přírodě tento proces může probíhat za jistých podmínek samovolně. V bioplynových stanicích je tento proces vyvolán záměrně, za užití specializovaných zařízení (Kára et al., 2007).

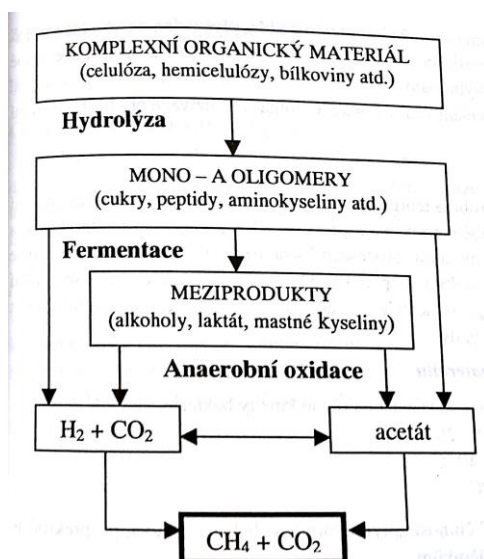
Biochemický proces tvorby bioplynu je značně složitý proces, který probíhá bez přítomnosti kyslíku. Pro popis procesu byly postupně vytvořeny tři modely (Jelínek et al., 2001).

Nejstarší model stanovil dvoufázový proces, který zahrnoval acidogenní fázi, během níž jsou produkovány mastné kyseliny, a metanogenní fázi, kde metanogeny přeměňují tyto kyseliny na CO_2 a CH_4 (Kratochvílová et al., 2009).

Třífázový model je započat fermentační fází, při které jsou organické materiály (např. uhlovodíky, proteiny, lipidy) přeměňovány na mastné kyseliny, alkoholy, CO_2 a amoniak. Ve druhé fázi vodík štěpí tyto výstupy na H_2 , CO_2 , acetát a mastné kyseliny. Ve třetí fázi využívají metanogeny H_2 , CO_2 a acetát pro produkci metanu.

V dnešní době je uznáván nejnovější čtyřfázový model, viz obrázek č. 2, dle kterého zjednodušeně proces probíhá v těchto fázích:

1. hydrolýza – přeměna polymolekulárních organických látek na nižší monomery;
2. acidogeneze – přeměna jednoduchých organických sloučenin na mastné kyseliny působením acidogenních bakterií;
3. acetogeneze – hlavním produktem je kyselina octová;
4. metanogeneze – působením metanogenních bakterií se tvoří metan a oxid uhličitý (Jelínek et al., 2001).



Obr. č. 2: Čtyřfázový model anaerobního vyhnívání (Jelínek et al., 2001).

Při promítání vícefázových modelů anaerobního vyhnívání organických odpadů do skutečných technologií, je nutno vzít na vědomí, že acidogenní a metanogenní bakterie mají rozdílné nutriční požadavky, kinetiku růstu, odlišné požadavky na optimální pH a teplotu a

jinou úroveň redox potenciálu prostředí. Z těchto důvodů byly vyvinuty dvoustupňové způsoby, jež umožňují lepší regulaci, rychlejší náběh procesu, vyšší efektivitu a stabilitu fermentace (Straka et al., 2006).

Vícestupňová technologie anaerobní fermentace s sebou přináší vyšší investiční náklady a je náročnější na regulaci, následně ale zabezpečuje mnohem stabilnější proces. Na přetížení zařízení je možno reagovat již v acidogenní fázi, takže nenastane pokles produkce bioplynu. Dále jsou toxické produkty z acidogenní fáze kontinuálně odváděny, což zamezuje jejich akumulaci (Kára et al., 2007).

Celková stabilita procesu je ovlivňována řadou faktorů, které buď přímo ovlivňují životní prostředí mikroorganismů (např. teplota, živiny, pH) nebo by měly být brány v úvahu při návrhu a posouzení anaerobního reaktoru.

Teplota značně ovlivňuje interakce mezi jednotlivými skupinami mikroorganismů. Se změnou teploty dochází ke změně rychlosti probíhajících pochodů, což způsobuje přerušování dynamické rovnováhy v procesu, a může to vést k havárii. Naproti tomu dlouhodobá změna teploty vede ke změně kategorií jednotlivých organismů. Dalším závažným faktorem procesu je úzký rozsah pH, který je optimální pro správný růst mikroorganismů. Nejčastějšími příčinami výkyvů pH je přetížení reaktoru (Rapport et al., 2008).

Pro správný chod procesu je nutný vhodný poměr N a P k organickým látkám. Ve většině případů je u substrátů přirozeného původu množství živin dostačující. Naopak při fermentaci kejdy a jiných živočišných produktů je v přebytku amoniak, který může za zvýšeného pH působit inhibičně až toxicky. Ze skupiny toxických a inhibujících látek se nejčastěji setkáváme s nižšími mastnými kyselinami a amoniakem, obojím v nedisociované formě. Inhibice těchto látek je tedy závislá na hodnotě pH. Při nízké hodnotě pH působí inhibičně mastné kyseliny, při vyšším pH je to amoniak (Naik et al., 2013).

Při pohledu na technologické faktory ovlivňující stabilitu procesu je nejdůležitější míchání a doba zdržení. Obsah reaktoru musí být v homogenním stavu, aby byl umožněn co nejvíce dokonalý kontakt mikroorganismů se substrátem. Doba zdržení musí být dlouhá tak, aby nedocházelo k vyplavení potřebných organismů a bylo dosaženo potřebné účinnosti rozkladu. Vzhledem k relativně dlouhým regeneračním dobám mikroorganismů, 0,5 až 12 dní dle skupiny, se doba zdržení v bioplynových reaktorech udržuje 20 až 40 dní. Platí zde pravidlo, čím hůře se substrát rozkládá, tím je delší regenerační doba bakterií (Dohányos, 2008).

4.3 Digestát

Procesem anaerobní fermentace se surová organická hmota přemění na bioplyn a stabilizovaný zbytek, tzv. digestát. (Mužík et Slejška, 2003). Digestát je plně fermentovaný materiál obsahující živiny, který lze použít jako takový, nebo jej dále dělit na separát a fugát (Litmanen et Kirchmeyer, 2014).

Jakožto vedlejší produkt výroby bioplynu, je heterogenní tekutinou s obsahem sušiny pohybující se v rozmezí 7 – 12 % a s významným podílem nerozložené pevné organické fáze (60 – 80 % organických látek v sušině). Přestože je digestát dle vyhlášky organickým hnojivem, svým složením a vlastnostmi je bližší spíše kombinovaným minerálním hnojivům s vysokým zastoupením dusíku v amonné (50 – 75 % z celkového dusíku) a dále organické formě (Dostál et al., 2015).

Dále Dostál et al. (2015) uvádí, že celkový obsah dusíku v digestátech často kolísá mezi hodnotami 0,25 – 0,7 %. Digestát je dle nařízení vlády č. 262/2012 Sb., hnojivem s rychle uvolnitelným dusíkem (poměr C:N nižší než 10), což ve zranitelných oblastech omezuje, nebo přímo zakazuje jeho aplikaci v určitém období a stanovuje tak vyšší nároky na skladovací kapacity. Digestát je nejčastěji aplikován přímo ke konkrétním plodinám, a tím snižuje použití dusíkatých a draselných hnojiv při pěstování rostlin.

4.3.1 Vlastnosti

Digestát je složen ze dvou hlavních složek: částečně rozložený i nerozložený vstupní substrát a hmota, která je tvořena mikroorganismy z fermentace. Množství konkrétně nerozložené biomasy je ovlivňováno především dobou, po kterou je zdržen substrát v reaktoru, a také podílem hůře rozložitelných látek původní biomasy (celulóza, hemicelulóza, lignin). V případě použití nejčastějších vstupních substrátů, jimiž jsou kejda a rostlinná biomasa, je rozloženo 40 – 60 % původní organické hmoty. Nerozložená část organické biomasy obsahuje skoro stejné množství dusíku a jiných minerálních látek jako původní hmota (Matějka et al., 2010).

Digestát lze odseparovat za vzniku pevné fáze nazvané separát a kapalnou fázi nazvanou fugát (Tlustoš et al., 2014). Ke vzájemnému oddělení složek se používají kalolisy, centrifugy a šnekové separátory (Kratochvílová et al., 2009).

Schievano et al. (2008) při svém zkoumání uvádí zjištění velké stability digestátu při použití kompostu jako základní matrice. Výsledky prokazují přítomnost složitějších frakcí,

jako jsou aromatické a alifatické molekuly, které jsou zároveň prekurzory humusu. Celkový obsah N a P nebyl během procesu ovlivněn.

4.3.2 Druhy digestátu

Anaerobní digesce je vhodná pro materiály organického původu. Do bioplynové stanice tedy nejčastěji vstupují, a do složení digestátu se promítají, tyto materiály: biologicky rozložitelné odpady, odpady z lihovarů, pivovarů, z potravinářského průmyslu, vedlejší živočišné produkty, kejda apod. (Zafar, 2015).

4.3.2.1 Ze statkových hnojiv a rostlinné biomasy

Konkrétně tyto druhy digestátu vznikají na bioplynových stanicích, které zpracovávají statková hnojiva a rostlinné substráty jako je např. travní biomasa, bramborová nať, kukuřičná siláž apod. Dle zákona o odpadech 185/2001 Sb., a Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002 o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu nelze pro tyto digestáty použít odpady ani vedlejší živočišné produkty (Marada et al., 2008). Zvláště atraktivní formou vzniku digestátu je využití zvířecího trusu, např. od drůbeže či prasat.

4.3.2.1.1 Ze zbioplynování vedlejších živočišných produktů

Tento druh digestátu vzniká ve stanicích, jež podléhají Nařízení ES č. 1774/2002. Mezi podmínky tohoto nařízení patří například hygienizace suroviny. Do této stanice vstupují, a do složení digestátu se promítají, tyto materiály: kuchyňské odpady, masokostní moučky, mléko apod.

4.3.2.2 Z anaerobní digesce odpadů

V tomto případě lze použít jako vstupní surovinu bioodpad, statková hnojiva a materiál rostlinného charakteru. Ve vyhlášce č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady je uveden seznam využitelných bioodpadů. Tento druh stanic je možné provozovat pouze na základě rozhodnutí orgánu kraje. Pokud jsou bioplynové stanice součástí čistíren odpadních vod, vzniká zde anaerobně stabilizovaný kal. Tyto stanice nezpracovávají jiný odpad než kaly z čistíren, septiků apod. a jsou součástí kalového hospodářství provozu (Marada et al., 2008).

4.3.3 Digestát jako odpad

Odpadem se digestát může stát dle zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech pouze ve výjimečných případech. Jedná se o digestáty, jež jsou šířeny do oběhu jako hnojiva a nesplňují dané jakostní znaky, zejména obsah rizikových látek. V dalším případě může být digestát odpadem pokud jeho původní účel (např. hnojivo) odpadl nebo zanikl. V těchto případech je producent povinen nakládat s digestátem dle zákona o odpadech a předat jej oprávněné osobě k odstranění nebo využití (BIOM, 2014).

4.3.4 Digestát jako hnojivo

Aplikace digestátu na zemědělskou půdu musí být v souladu se zákonem č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení půd. Je nutné, aby takto využívaný digestát splňoval stanovené limity hodnoty rizikových prvků uvedené v tabulce č.1.

Tab č. 1: Limitní hodnoty rizikových prvků v organických hnojivech (Marada et al., 2008)

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

Na hnojení je možno použít pouze digestáty stabilizované, které jsou produkovány při správném technologickém postupu a přiměřeném zatížení organických fermentorů. Vzhledem k velkým problémům u substrátů s vysokým obsahem organicky vázaného dusíku, je nutno věnovat pozornost skladbě surovin a celkovému poměru C:N. Při srovnání vlastností digestátu oproti jiným hnojivům je nutno zmínit vyšší pH (7 - 8), nižší obsah uhlíku a množství sušiny 2 – 13 % (Marada et al., 2008).

Při srovnávání s klasickými stájovými hnojivy má digestát tyto přednosti:

- redukce zápachu
- redukce patogenů
- omezená klíčivost plevelů
- snížení žíravého účinku surové kejdy
- zachován obsah N, P, K apod. (BIOM, 2014).

Matějka et al. (2010) a Havlíčková et al. (2008) se shodují s předchozími informacemi. Uvádí též snížení zápachu, a to z toho důvodu, že látky, jež vytváří zápach, se transformují anaerobní fermentací na nezapáchající látky, což je oxid uhličitý a metan. Marada et al. (2008) dodává, že tohoto stavu lze dosáhnout vhodnou skladbou vstupních surovin, předúpravou a dostatečnou dobou zdržení ve fermentoru při mezofilních (cca 40 °C) či termofilních teplotách (cca 55 °C).

Dále kladně hodnotí snížení obsahů patogenů a semen plevelů, což je dáno podmínkami, jakožto zvýšená teplota fermentace na 50 °C a doba zdržení dle substrátu 20 – 60 dnů. Poslední v čem se shodují, je zachování hnojivých látek. Odůvodnění je takové, že při fermentaci biomasa obsahuje 5 % C. Z již rozložené biomasy je 95 % uhlíku transformováno na bioplyn, což evokuje, že se nesnižuje celkové množství živin a díky rozkladu organických látek je zvýšena koncentrace živin v digestátu. Další vlastností, kterou autoři uvádějí, je pokles emisí skleníkových plynů. Komentují to tak, že při běžné manipulaci s rostlinnou biomasou a statkovými hnojivy dojde k emisím metanu a oxidu uhličitého. Naproti tomu v bioplynové stanici v průběhu anaerobní fermentace jsou rozložitelné látky přeměňovány na bioplyn, jež je jímán, a dále se využívá k energetickým účelům. Jako poslední vlastnost je zde uvedeno vylepšení reologických vlastností. Toto nastává ze dvou důvodů. Díky homogenizaci a biologické stabilizaci substrátu je umožněna rovnoměrná aplikace do půdy. Nižší viskozita a nižší obsah mastných kyselin umožňují jeho aplikování i ke vzrostlým rostlinám (Matějka et al. (2010) a Havlíčková et al. (2008)).

Kolář et al. (2010) ohledně digestátu uvádí, že není hnojivem organickým, protože proces anaerobní digesce zanechal v surovině pouze stabilní organické látky. Hlavním znakem organických hnojiv je schopnost jejich rychlého rozkladu, aby hnojivo poskytlo energii půdním mikroorganismům. Digestát je slabým minerálním hnojivem, protože obsahuje jen málo minerálních živin, a to v přebytku vody.

4.3.5 Skladování

Kromě vegetačního období platí omezení pro užití digestátu na půdu. Z tohoto důvodu je nutno vyřešit jeho skladování. Toto musí být v souladu s vyhláškou č. 247/1998 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv, ve znění pozdějších předpisů (Večeřová, 2009).

Doba skladování pro tekutý digestát závisí na několika faktorech, jako jsou zeměpisná oblast, typ půdy, dešťové srážky, střídání plodin apod. Oblasti vyznačené jako zranitelné vzhledem k dusičnanům vyžadují minimálně šest měsíců skladování, což může vést k velké finanční zátěži.

Dehydratovaný digestát, vzhledem k jeho vyššímu obsahu sušiny, lze stohovat, a je proto mnohem vhodnější ke skladování než tekutý digestát (ADBA, 2013).

4.3.6 Legislativa

Z hlediska legislativy jsou na digestát kladeny vysoké nároky zejména ohledně hygieny. Jedná se zde o dodržení parametrů hygienizace, limitů rizikových prvků a indikátorových organismů. V případě užití digestátu jako organického hnojiva na zemědělské půdě je hlavním předpisem úplné znění zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech a též úplné znění zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech se změnami provedenými zákonem č. 314/2006 Sb. V případě digestátů pocházejících z anaerobní digesce vedlejších živočišných produktů je důležitá legislativa Evropské unie, nazývána jako legislativa ABP (Animal by-product), zejména Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1774/2002, které stanovuje hygienická pravidla ohledně vedlejších živočišných produktů, jež nejsou určeny pro lidskou spotřebu. Do legislativního rámce ABP se zahrnuje i hnůj a kejda, za předpokladu jejich zpracování na bioplynové stanici. Stanice, které zpracovávají hnůj a kejdu se též řadí pod působnost zákona 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezování znečištění podle přílohy č.1 kategorie 6.5 (Váňa, 2007).

Dále se digestátu týká vyhláška č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů, dle které je digestát organické hnojivo typové (typ 18.1 e). Digestát tuhý i tekutý je zařazen podle zákona 254/2001 Sb., o vodách mezi takzvané závadné látky. Osoba, jež manipuluje se závadnými látkami, je povinna učinit přiměřená opatření k zabránění proniknutí do podzemních nebo povrchových vod (Došek et al., 2015).

Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech také pojednává o nutné registraci a ohlášení uvádění digestátu do oběhu a jeho užití ke hnojení. Do oběhu lze uvádět pouze hnojiva registrovaná podle zákona (neplatí pro statková hnojiva a hnojiva ES), která neohrožují úrodnost půdy ani zdraví lidí a zvířat, nepoškozují životní prostředí a splňují požadavky na označení, skladování, balení a nejsou znehodnocena. Je nepřípustné uvést do oběhu hnojivo neoznačené či označené nepravdivými a klamavými údaji. Je zavedena povinnost registrace pro veškeré digestáty, vyrobené s použitím odpadů (např. vedlejší živočišné produkty, kaly), nevylímaje ty, které nejsou uváděny do oběhu. Cílem těchto opatření je zlepšení technologické kázně bioplynových stanic, což by mělo přirozeně vést ke snížení rizika pro půdu a potravní řetězec. Tato povinnost se nevztahuje na digestáty vyrobené výhradně s užitím statkových hnojiv a objemných krmiv, které nejsou uváděny do oběhu (Večeřová, 2009).

4.4 Pěstební substráty

Pěstební substrát je základním materiálem pro vývoj rostlin. V dnešní době existují desítky různých složek, jež se používají k vytvoření domácích nebo komerčních pěstebních substrátů. Tato média mají několik hlavních funkcí, mezi které patří dodávání živin, vzduchu a vody ke kořenům rostlin, umožnění maximálního růstu kořenů a celková podpora rostliny. Vhodné je vybrat lehký, vzdušný substrát, který propouští v dostatečné míře veškeré živiny, které rostliny potřebují (Handreck et Black, 2005).

Základní složkou organických substrátů v Evropě je rašelina. Používá se samostatně nebo ji lze kombinovat s minerálními složkami, nejvíce s jíly v dávce do 10 % objemu, dále případně se zahradními komposty, kompostovanou kůrou a též s upraveným dřevním odpadem (Carlile, 2008).

V ČR se pracuje nejčastěji s rašelinou vrchovištní, původem z Pobaltí nebo Běloruska. S ohledem na cenovou dostupnost přivážených rašelin se další složky používají pouze k optimalizaci vlastností substrátů (Fonteno, 1996). Z kompostů se v substrátech uplatňují především takzvané zahradní komposty, složené z biologického odpadu z údržby zeleně (Dubský et Šrámek, 2008).

Základní fyzikální charakteristikou u substrátů je objemová hmotnost, která se využívá při stanovování objemu rašelin či substrátu při obchodování (EN 12580), též pro stanovování navážky a vyjádření množství přijatelných živin v mg na litr substrátu u chemických rozborů (EN 13040). K základním fyzikálním vlastnostem lze přiřadit obsah organických (spalitelných) látek a popele (EN 13039). Z hlediska pěstitelského je důležitá schopnost substrátu zadržet vodu při dostatečné zásobě vzduchu, tzv. hydrofyzikální vlastnost (Tlustoš et al., 2013).

4.4.1 Substráty složené z neseparovaného digestátu

Pro přípravu substrátů je vhodný i digestát, který po celém procesu anaerobního vyhnívání obsahuje stabilní organické látky (Kolář et al., 2010). Vhodné jsou produkty zemědělských bioplynových stanic, které se zabývají zpracováním statkových hnojiv (kejda) a rostlinné hmoty. Tyto obsahují nerozložené podíly organických látek a svou strukturou pozitivně ovlivňují fyzikální vlastnosti substrátů (Dubský et Kaplan, 2013).

4.4.2 Běžné pěstební substráty

Zahradnické substráty neodpovídají charakterem hnojivům, jelikož nejsou hlavním zdrojem živin. Jsou řazeny do speciální skupiny organických materiálů. Jde o pěstební média, která se používají k přípravě pěstebních záhonů a nádob.

V dnešní době je nejčastěji využívána rašelina. Nejběžněji se kombinuje s fermentovanou kůrou. Z toho důvodu, že produkty nemají vlastnosti zahradních zemin, je pro ně využíván termín substráty. Mezi požadavky na substráty patří hlavně biologická nezávadnost, což znamená nepřítomnost zárodků chorob, škůdců apod. Dále je nutné vhodné pH, obsah rizikových prvků, organické látky a poměr C:N. V neposlední řadě jsou důležité faktory jako velikost částic, pórovitost, sorpce a struktura.

Hlavními materiály pro přípravu substrátů jsou rašeliny, písek a perlit. Tyto materiály jsou použitelné samostatně, ale většina substrátů je kombinací různých materiálů.

Materiály lze dělit takto:

- organické komponenty – mají zásadní vliv na fyzikální vlastnosti substrátů, nejčastěji se využívá rašelina;
- minerální komponenty – zeminy, je vhodné přidávat do substrátů, které mají vyšší obsah jílnatých částic, zvyšují sorpční kapacitu a stabilizují proti změnám pH;
- meliorační komponenty – materiály s mimořádnými vlastnostmi, mezi které se řadí pórovitost apod.;
- hnojiva – nejčastěji využívaným je vápenec, využívaný k úpravě pH, další hnojiva jsou aplikována dle potřeby (Vaněk et al., 2012).

4.5 Fosfor

Fosfor se řadí mezi důležité rostlinné živiny, jeho světové zásoby jsou však silně limitovány. Z tohoto důvodu nabývá efektivní využití fosforem obohaceného digestátu z bioplynových stanic na významu, aby fosfor, který je již součástí zemědělského systému, zůstal v koloběhu. Například v sousedním Německu v dnešní době vzniká v zařízeních na bioplyn více než 100 000 tun digestátu za rok. Neupravené fermentační zbytky jsou vhodné fosforečné hnojivo pouze za určitých podmínek, jelikož obsah fosforu v nich v poměru k obsahu dusíku je často nízký (Koubová, 2012).

Celková zásoba fosforu v půdě se pohybuje od 0,01 % - 0,15 %. Většinová část celkového fosforu v půdě je pro rostliny nepřijatelná. Sloučeniny kyseliny

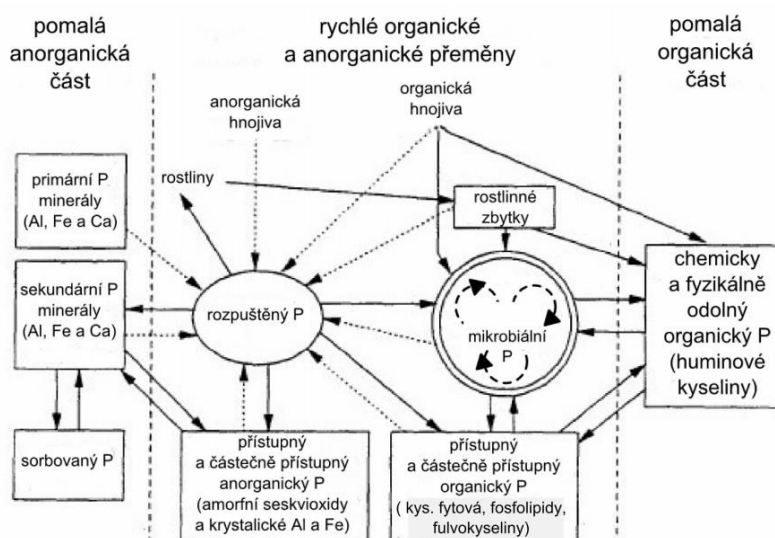
trihydrogenfosforečné (H_3PO_4) a v nižší míře vazby kyseliny difosforečné ($\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$) jsou základem různých forem fosforu v půdě. Minerální a organické sloučeniny fosforu slouží jako možný zdroj pro výživu rostlin a půdních mikroorganismů. Velký vliv na formy fosforu v půdě má také hodnota pH. Rostlinami je přijímán ve formě aniontů již zmíněné kyseliny trihydrogenfosforečné hlavně v konkrétních H_2PO_4^- a HPO_4^{2-} (Vaněk, 2012).

4.5.1 Koloběh fosforu

Při výživě rostlin je důležitý fosfor z půdy a jeho koloběh (viz obrázek č. 3), ze kterého je tvořena převážná část rostlinné produkce. Hnojením jsou v podstatě doplňovány odebrané živiny při sklizni. Jakmile překročí obsah přijatelného fosforu v půdě jisté hranice, nepůsobí již hnojení fosforečnými hnojivy výnosotvorně, ale je alespoň doplňován do půdy fosfor odebraný sklizní. Je tedy znatelné, že při dosažení nezbytné hladiny přijatelného fosforu v půdě je žádoucí pravidelné doplňování fosforu zhruba v úrovni jeho odběru rostlinami (Vaněk et al., 2012).

Méně častým jevem v koloběhu fosforu je jeho úplný nedostatek. Ve většině případů se jedná o latentní nedostatek, což znamená, že na rostlině nejsou viditelné žádné zjevné příznaky nedostatku fosforu, ale jeho obsah v rostlině je tak nízký, že nemohou probíhat všechny biochemické funkce na nutné úrovni. Kritickým obdobím pro příjem fosforu rostlinou je počátek vegetace, konkrétně nejčastěji za chladného případně suchého počasí. Pokud nastane déletrvající nedostatek fosforu, reaguje rostlina již viditelnými vnějšími příznaky. Charakteristické znaky jsou užší listy, nízký vzrůst a slabší stonky. Růstem kořenů za lepších povětrnostních podmínek lze zlepšit příjem fosforu, avšak jeho výrazný deficit se ve většině případů již nedá plně nahradit.

Nadbytek fosforu se v našich podmínkách u rostlin téměř nevyskytuje. Příčinou je, že fosfor je velmi dobře sorbován půdou a jeho obsah zdaleka nedosahuje mezních hodnot, kdy by přecházel do půdního roztoku (Vaněk et al., 1998).



Obr. č. 3: Půdní cyklus P rozdělený podle rychlosti jednotlivých přeměn (Sharpley, 1995).

4.5.2 Využití fosforu rostlinou

Výskyt fosforu v půdním roztoku je značně omezený, proto je důležité jeho rychlé doplňování z pevné fáze půdy. Rostliny dokáží přijmout fosfor i při výrazně nízké koncentraci v půdním roztoku, je přitom však nutné překonat vysoký koncentrační gradient. Přijímání fosforu je procesem aktivním, a proto vyžaduje dostatek energie. Tato energie se nachází ve vazbách v ATP a uvolňuje se pomocí enzymu ATPázy. Menší objem energie se u rostlin vyskytuje při nízkých teplotách. Rostliny jsou schopny do jisté míry ovlivňovat příjem fosforu. Například aktivací fosfatázy v membránách kořenů a přenašečů s vysokou afinitou k fosforečnanům. Dalším předpokladem pro příjem fosforu je vytváření bohaté kořenové soustavy (Vaněk et al., 2012).

4.5.3 Fosfor v digestátu

Neupravené fermentační zbytky jsou vhodným fosforečným hnojivem jen za určitých podmínek, jelikož obsah fosforu v nich je v poměru k obsahu dusíku často nízký. Separací pevné a kapalné složky digestátu však oba prvky specificky kumulujeme – zatímco fosfor z velké části zůstane v pevné fázi, rozpuštěný dusík se nachází převážně v kapalné fázi. Tímto způsobem je kromě toho možné fosfor převést do ekonomicky transportovatelné formy. Navíc umožňuje separace pevné látky a kapaliny dávkování fosforečného hnojiva podle potřeby (Koubová, 2012).

Některé typy digestátu mají oproti kompostům vyšší množství fosforu a draslíku (Tambone et al., 2010).

Börjesson et Berglund (2007) uvádí, že veškerý fosfor v digestátu obsažený by měl být v dostupných formách a je tedy vhodným materiálem pro doplnění chybějících živin z půdy, zejména P a K. Průměrný poměr P a K v digestátech je přibližně 1:3.

5. Metodika

V rámci této diplomové práce byly hodnoceny pokusy, které probíhaly v letech 2011 až 2015. Hlavní zaměření je na vyhodnocení změn obsahu přístupných forem fosforu v substrátu po aplikaci neseparovaného digestátu do rašeliny a změn obsahu P v nadzemní hmotě pěstovaných rostlin. Neseparovaný digestát pocházel vždy ze zemědělské bioplynové stanice Krásná Hora nad Vltavou (okres Příbram). Vstupním substrátem pro výrobu bioplynu je zde kejda skotu, kukuřičná siláž a travní senáž. Vegetační pokusy byly vždy realizovány ve sklenících ČZU.

5.1 Pokusy v roce 2011

5.1.1 Bazalka pravá (*Ocimum basilicum*, L.)

Skleníkový pokus s bazalkou (*Ocimum basilicum*, L.) byl založen v roce 2011 (20.7. – 31.8.). Bylo zde realizováno 5 níže uvedených variant ve čtyřech opakováních. Do každé nádoby byly zasazeny čtyři rostliny bazalky, ty byly zalévány vždy stejně dle potřeby.

Principem pokusu bylo srovnání různých běžně vyráběných pěstebních substrátů s rašelinou smíchanou s přidavkem různého množství neseparovaného digestátu. Vycházeli jsme z předpokladu, že samotná rašelina je chudá na živiny a má nízké pH (kolem hodnoty 4,0) a neseparovaný digestát je naopak dobrým zdrojem živin a má pH zpravidla vyšší než 7,0. Jejich smícháním by tedy měl vzniknout vhodný pěstební substrát využitelný pro většinu běžně pěstovaných zahradních plodin. Po sklizni byly odebrány vzorky nadzemní hmoty rostlin a vzorky substrátů k analýzám.

Pro pokus byly jako kontrolní srovnávací varianta využity 2 typy pěstebních substrátů – 1. Pěstební substrát B (firma Rašelina Soběslav, Soběslav, ČR) a 2. Gramoflor cocofibre G-SG 02919 3,33EN (firma Gramoflor GmbH & Co. KG - Vechta, Německo). Dále byla využita rašelina (firma Rašelina Soběslav, Soběslav, ČR) namíchaná objemově s různými poměry neseparovaného digestátu (bioplynová stanice Krásná Hora nad Vltavou) a to v následujících poměrech.

3. 5 % neseparovaného digestátu a 95 % rašeliny
4. 10 % neseparovaného digestátu a 90 % rašeliny
5. 15 % neseparovaného digestátu a 85 % rašeliny

5.1.2 Gazanie zářivá (*Gazania rigens*, L.)

Pokus byl založen 6. 4. 2011 a skončil sklizní provedenou 18. 5. 2011. Gazanie byly vysazeny v pěti níže uvedených substrátech, vždy se čtyřmi opakováními. Do každého plastového květináče o objemu 1,5 l byla zasazena jedna rostlina *Gazania rigens*. Rostliny byly dle potřeby zalévány. Po sklizni byly spočítány květy jednotlivých rostlin a zvážená nadzemní biomasa byla podrobena následným laboratorním analýzám. K analýzám byly rovněž odebrány i vzorky substrátů. K pokusům byly použity stejné substráty a jejich kombinace jako pro bazalku v roce 2011.

5.2 Pokusy v roce 2012

5.2.1 Bazalka pravá (*Ocimum basilicum*, L.)

Skleníkový pokus s bazalkou (*Ocimum basilicum*, L.) byl založen v roce 2011 (26.4. – 20.6.). Bylo zde realizováno 5 níže uvedených variant ve čtyřech opakováních. Do každé nádoby byly zasazeny čtyři rostliny bazalky, ty byly zalévány dle potřeby. Po sklizni proběhlo spočítání rostlin, zvážení nadzemní biomasy a její usušení a následné laboratorní analýzy.

Pokus navazoval na práci z roku 2011, kdy maximální testované množství přídatku digestátu činilo 15 %. Tato varianta vykazovala pozitivní výsledky, a proto byly v tomto roce zařazeny vyšší dávky digestátu do rašeliny.

Pro pokus byly jako kontrolní srovnávací varianta využity 2 typy pěstebních substrátů – 1. Pěstební substrát B (firma Rašelina Soběslav, Soběslav, ČR) a 2. Gramoflor cocofibre G-SG 02919 3,33EN (firma Gramoflor GmbH & Co. KG - Vechta, Německo). Dále byla využita rašelina (firma Rašelina Soběslav) namíchaná objemově s různými poměry neseparovaného digestátu (bioplynová stanice Krásná Hora nad Vltavou) a to v následujících poměrech.

3. 10 % neseparovaného digestátu a 90 % rašeliny
4. 20 % neseparovaného digestátu a 80 % rašeliny
5. 25 % neseparovaného digestátu a 75 % rašeliny

5.2.2 Gazanie zářivá (*Gazania rigens*, L.)

Pokus byl založen 5. 4. 2012 a skončil sklizní provedenou 18. 6. 2012. Bylo zde realizováno 5 níže uvedených variant ve čtyřech opakováních. Do každé nádoby (1,5 l) byla zasazena jedna rostlina gazanie, ty byly zalévány dle potřeby. Během sklizně proběhlo spočítání květů, zvážení nadzemní biomasy a její usušení a následné laboratorní analýzy.

K analýzám byly rovněž odebrány i vzorky substrátů. K pokusům byly použity stejné substráty a jejich kombinace jako pro bazalku v roce 2012.

5.2.3 Máta peprná (*Mentha piperita*, L.)

V roce 2012 byl založen rovněž pokus s mátou peprnou. Pokus byl založen 5. 6. 2012 a skončil sklizní provedenou 10. 7. 2012. Bylo zde realizováno 5 níže uvedených variant ve čtyřech opakováních. Do každé nádoby byla zasazena jedna sazenice máty peprné. Nádoby byly zalévány vždy stejně dle potřeby. Během sklizně byly odebrány vzorky nadzemní hmoty a substrátů pro analýzy. Varianty substrátů byly stejné jako u předchozích rostlin v témže roce.

5.3 Pokusy v roce 2013

5.3.1 Gazánie zářivá (*Gazania rigens*, L.)

Metodika navazuje na pokusy z let 2011 a 2012, kde byly používány různé poměry digestátu s rašelinou u různých zahradních rostlin. Nejvhodnější parametry v letech 2011 a 2012 vykazovala zpravidla rašelina s 5 a 10 % digestátu, hodnota pH substrátu však byla po sklizni rostlin stále nízká. Proto byl v těchto pokusech přidáván v různých poměrech dolomitický vápenec. Hodnoceny byly varianty uvedené v následující tabulce (Tab č. 2). Vlastní pokus s gazániami ve sklenicích ČZU byl založen 25. 4. 2013 a sklizen 2. 7. 2013. Rostliny byly vždy zasazeny do nádob se substrátem o objemu 1,5 l, a to vždy 1 rostlina na nádobu. Všechny varianty byly realizovány ve čtyřech opakováních. Pokusy byly dle potřeby vždy stejně zalévány. Všechny varianty byly realizovány ve čtyřech opakováních.

Tab č. 2: Varianty pokusu s neseparovaným digestátem a dolomitickým vápencem

Var.	Substrát
1	pěstební substrát B
2	rašelina + 5 % ND (namícháno objemově) + 3 g/l dolomitického vápence
3	rašelina + 5 % ND (namícháno objemově) + 6 g/l dolomitického vápence
4	rašelina + 10 % ND (namícháno objemově) + 3 g/l dolomitického vápence
5	rašelina + 10 % ND (namícháno objemově) + 6 g/l dolomitického vápence

Jako kontrolní varianta byl použit běžný typ pěstební substrátu - pěstební substrát B od firmy Rašelina Soběslav, Soběslav, ČR (dále jen Pěstební substrát B). Na namíchání pěstebních substrátů s digestátem byla použita rašelina od téže firmy. ND byl dodán z BPS ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s. (Středočeský kraj, okres Příbram). Vstupním substrátem pro výrobu bioplynu je zde kejda skotu, kukuřičná siláž a travní senáž. Pro úpravu hodnoty pH byl použit dolomitický vápenec – minimálně 22 % Ca a 10 % Mg (firma Engelhard GmbH, Ammerthal, Německo). Další základní charakteristiky vstupních substrátů jsou uvedeny v tabulce 4.

5.3.2 Máta peprná (*Mentha piperita*, L.)

V roce 2013 byla pro pokusy využita rovněž máta peprná. Metodika navazuje na pokusy z roku 2011 a 2012, kde byly používány různé poměry digestátu s rašelinou u různých zahradních rostlin. Hodnoceny byly varianty substrátů stejné jako u gazánie v roce 2013 a jsou tedy uvedené v tabulce (Tab č. 2). Porost máty byl založen ve skleníku dne 30. 5. 2013 a sklizen 2. 7. 2013. Rostliny byly vždy zasázeny po jedné sazenici do nádob se substrátem o objemu 1,5 l. Pokusy byly dle potřeby zalévány. Všechny varianty byly realizovány ve čtyřech opakováních. Po sklizni následovala analýza substrátů i nadzemní hmoty rostlin popsána v dalších kapitolách.

5.4 Pokusy v roce 2014

5.4.1 Bazalka pravá (*Ocimum basilicum*, L.)

Skleníkový pokus probíhal v období 24. 4. 2014 až 3. 6. 2014. Bylo zde realizováno 5 níže uvedených variant ve čtyřech opakováních. Do každé nádoby byly zasazeny čtyři rostliny bazalky, ty byly zalévány dle potřeby. Po sklizni proběhlo spočítání rostlin, zvážení nadzemní biomasy a její usušení a následné laboratorní analýzy.

Pokus navazoval na výsledky z let 2011 a 2012. Z předchozích pokusů je zřejmé, že přidání neseparovaného digestátu zvyšuje pH substrátu pouze krátkodobě, poté dochází k mineralizaci amonných iontů a tím i snížení hodnoty pH. Rovněž dávky 3 a 6 g/l dolomitického vápence ke gazáním a mátě v roce 2013 nezabránilly poklesu pH na nízkou hladinu. Proto byly dávky dolomitu v roce 2014 ještě navýšeny.

Pro pokus byl jako kontrolní srovnávací substrát zvolen „Zahradnický substrát“ (firma Primaflora, šarže RM 29/11/13, Agro CS Česká Skalice). Dále byla využita rašelina zahradnické třídy 1 – vrchovištní (Agro CS a.s., Česká Skalice) namíchaná objemově s různými poměry neseparovaného digestátu (bioplynová stanice Krásná Hora nad Vltavou) a vápenitého dolomitu (firma Engelhard GmbH, Ammerthal, Německo) v následujících poměrech:

2. 5 % neseparovaného digestátu a 95 % rašeliny + 10 g/l vápenitého dolomitu
3. 5 % neseparovaného digestátu a 95 % rašeliny + 15 g/l vápenitého dolomitu
4. 10 % neseparovaného digestátu a 90 % rašeliny + 10 g/l vápenitého dolomitu
5. 10 % neseparovaného digestátu a 90 % rašeliny + 15 g/l vápenitého dolomitu

5.5 Pokusy v roce 2015

5.5.1 Máta peprná (*Mentha piperita*, L.)

V roce 2015 byla pro pokusy využita rovněž máta peprná. Metodika rovněž navazuje na předchozích, kde byly používány různé poměry digestátu s rašelinou u různých zahradních rostlin. Hodnoceny byly varianty substrátů uvedené v následující tabulce (tabulka č. 3). Porost máty byl založen ve skleníku dne 6. 5. 2015 a sklizen 9. 7. 2015. Rostliny byly vždy zasázeny po jedné sazenici do nádob se substrátem o objemu 1,5 l. Pokusy byly dle potřeby vždy stejně zalévány. Všechny varianty byly realizovány ve čtyřech opakováních.

Tab č. 3: Varianty pokusu s neseparovaným digestátem a dolomitickým vápencem

Var.	substrát
1	Zahradnický substrát
2	rašelina + 5 % ND (namícháno objemově) + 10 g/l dolomitického vápence
3	rašelina + 5 % ND (namícháno objemově) + 15 g/l dolomitického vápence
4	rašelina + 10 % ND (namícháno objemově) + 10 g/l dolomitického vápence
5	rašelina + 10 % ND (namícháno objemově) + 15 g/l dolomitického vápence

Jako kontrolní varianta byl použit běžný typ pěstební substrátu - Zahradnický substrát univerzální - Primaflora (Agro CS, Česká Skalice). Na namíchání pěstebních substrátů s digestátem byla použita rašelina od téže firmy. Pro úpravu hodnoty pH byl použit vápenitý dolomit – minimálně 22 % Ca a 10 % Mg (firma Engelhard GmbH, Ammerthal, Německo).

5.6 Provedené analýzy

U všech pokusů byly jako základní analýzy provedeny následující:

- podíl sušiny substrátů před i po sklizni,
- hmotnost čerstvé nadzemní hmoty sklizených rostlin
- podíl sušiny nadzemní hmoty sklizených rostlin.

5.7 Stanovení obsahu přístupného fosforu metodou Mehlich 3

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

5.8 Stanovení obsahu přístupného fosforu metodou CAT

Dostupnost či obsah vybraných půdních živin a prvků se stanovuje dle normy EN 13651. Tato evropská norma popisuje extrakční metodu pro stanovení živin a prvky extrahovatelné chloridem vápenatým / DTPA (diethylentriaminpentaacetát). Norma není vhodná pro stanovení vápníku. Vzorek byl extrahován při pokojové teplotě s roztokem 0,01 mol / l CaCl_2 a 0,002 mol / l DTPA v poměru (pevná látka / kapalina) 1:10. Po 1 hodině třepání byly vzorky zfiltrovány a získané extrakty měřeny. Obsah amonného a nitrátového dusíku byl stanoven spektrofotometricky na přístroji SKALAR SAN^{PLUS}SYSTEM. Pro stanovení přístupného P byl využit optický emisní spektrometr s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES) a pro stanovení přístupných K, Ca a Mg atomový absorpční spektrometr (AAS).

5.9 Stanovení hodnoty pH

Vodný výluh

Pro stanovení hodnoty pH bylo naváženo 10 g čerstvého substrátu, který reagoval po dobu 2 hodin (1hod. třepání, 1 hod. ustálení) se 50 ml demineralizované vody ve 250 ml třepacích lahvičkách. Po ustálení proběhlo měření aktivního pH a současně i vodivosti přístrojem „HANNA Instruments, HI 991 300“ přímo v suspenzi.

Výluh v 0,01 mol/l CaCl₂

Pro stanovení hodnoty výměnného pH bylo naváženo 20 g usušeného substrátu, který reagoval po dobu 2 hodin (1hod. třepání, 1 hod. ustálení) s 50 ml 0,01 mol/l CaCl₂ ve 100 ml plastových lahvičkách. Po ustálení proběhlo měření výměnného pH přístrojem „HANNA Instruments, HI 991 300“ přímo v roztoku. Postup byl převzat dle metodiky Minasny et al. (2011) a v ČR je rovněž běžně využíván laboratořemi ÚKZÚZ.

5.10 Analýzy rostlin

Nadzemní hmota analyzovaných rostlin byla usušena a jemně namleta. Bylo naváženo 0,5 g ($\pm 0,005$ g) namletého materiálu. Ten byl rozložen pomocí rozkladu na suché cestě. Získaný vzorek byl poté převeden do roztoku pomocí 1,5 % HNO₃ a analyzován ICP-OES pro změření obsahu celkového P.

5.11 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 (StatSoft, Inc., 2015).

6. Výsledky

V následující části je popsáno zhodnocení výsledků pokusů popsaných v metodice za roky 2011 až 2015 u jednotlivých rostlin s použitím substrátů s přídavkem neseparovaného digestátu (dále n.d.), v některých případech navíc i vápenitého dolomitu (dále v.d). V tabulkách i grafech je zapsána vypočtená hodnota testové statiky (tzv. F-test), jež byla porovnávána s kvantilem F se stupni volnosti 4 a 15 na hladině spolehlivosti 95 % a 99 %. Byla stanovena nulová hypotéza, která uvádí, že mezi substráty neexistuje rozdíl. V případě, že byla testová statistika vyšší než jeden ze dvou kvantilů, došlo k zamítnutí nulové hypotézy. Dalším postupem při zamítnutí nulové hypotézy je uvedení nižší hladiny významnosti, na které k zamítnutí došlo. Pokud je nulová hypotéza potvrzena uvádí se označení ns = nesignifikantní.

V případě průkazných rozdílů jsou varianty označeny odlišným písmenem.

Uvedená čísla představují průměrné hodnoty dané kategorie.

5.12 Vstupní charakteristiky

Procentuální hodnoty sušiny v průběhu let vykazovaly klesající tendenci spolu se stoupajícím procentem digestátu v příměsi (tabulka č. 4). Nejvyšší obsah sušiny byl u substrátů s digestátem naměřen u varianty s 5 %. S vyšším přídavkem digestátu se zpravidla zvyšovala i objemová hmotnost výsledných substrátů. Hodnoty pH v substrátech s digestátem byly jednoznačně vyšší oproti samostatné rašelině. Naměřené pH stoupalo spolu se zvyšujícím se procentem digestátu.

Měření fosforu v substrátech vykazovala zvýšení jeho obsahu se stoupajícím přídavkem digestátu.

Tab. č. 4: Vstupní charakteristiky substrátů používaných v pokusech

Substrát	roky použití	% sušiny	OH* g/l	pH _{CaCl2}	pH _{H2O}	P _{Mehlich3} **	P _{CAT} **
						mg/kg	mg/kg
Rašelina	2011 - 2014	39,6	426	3,8	---	21,1	35
Rašelina	2015	50,4	378	---	4,0	---	7,0
Neseparovaný digestát (ND)	2011 -2013	5,3	980	7,7	---	6019	3810
ND	2014	5,4	980	---	8,7	---	3530
ND	2015	6,3	1081	---	9,1	---	3746
Gramoflor	2011,2012	43,3	342	5,1	---	249	629
Pěstební substrát B	2011,2012	48,7	452	4,9	---	261	226
Baltica (UNI CS)	2011	45,3	463	5,8	---	319	795
Pěstební substrát B	2013	44,1	522	4,8	5,2	---	135
Zahradnický substrát	2014	42,1	504	---	5,4	---	160
Zahradnický substrát univerzál	2015	46,0	522	---	6,5	---	418
Rašelina + 5% n.d.	2011	34,9	491	4,3	---	222	674
Rašelina + 5% n.d. + 3 g/l v.d.	2013	46,7	409	4,3	5,2	---	300
Rašelina + 5% n.d. + 6 g/l v.d.	2013	45,7	415	4,5	5,3	---	277
Rašelina + 5% n.d. + 10 g/l v.d.	2014	44,6	416	---	5,5	---	269
Rašelina + 5% n.d. + 15 g/l v.d.	2014	47,1	429	---	5,8	---	246
Rašelina + 5% n.d. + 10 g/l v.d.	2015	40,6	412	---	6,1	---	345
Rašelina + 5% n.d. + 15 g/l v.d.	2015	42,4	390	---	6,3	---	295
Rašelina + 10% n.d.	2011,2012	41,9	552	4,8	---	305	967
Rašelina + 10% n.d. + 3 g/l v.d.	2013	41,8	436	4,7	5,5	---	701
Rašelina + 10% n.d. + 6 g/l v.d.	2013	41,6	458	5,0	5,8	---	770
Rašelina + 10% n.d. + 10 g/l v.d.	2014	40,2	468	---	5,6	---	617
Rašelina + 10% n.d. + 15 g/l v.d.	2014	39,6	479	---	5,9	---	649
Rašelina + 10% n.d. + 10 g/l v.d.	2015	36,2	370	---	6,2	---	837
Rašelina + 10% n.d. + 15 g/l v.d.	2015	37,8	459	---	6,4	---	884
Rašelina + 15% n.d.	2011	26,8	581	5,3	---	326	1140
Rašelina + 20% n.d.	2012	22,1	645	5,7	---	351	1317
Rašelina + 25% n.d.	2012	18,5	689	6,0	---	394	1420

* objemová hmotnost ** obsah fosforu v sušině

5.13 Bazalka pravá (*Ocimum basilicum*, L.)

Hodnocení po sklizni

Tato hodnocení probíhala u bazalky pravé mezi lety 2011 – 2015. Měření stanovovala hodnoty pH, výnosu nadzemní biomasy, sušiny, přijatelného fosforu v substrátu i celkového v rostlině a jeho odběr. V dalších kapitolách jsou rozepsány jednotlivé roky.

Rok 2011

V tabulce č. 5 jsou uvedeny jednotlivé kategorie charakterizující substrát a hmotu bazalek za rok 2011 po sklizni. Kontrolními substráty jsou Pěstební substrát B a Gramoflor. K různým množstvím rašeliny bylo přimícháváno odlišné množství neseparovaného digestátu s maximálním množstvím 15 % objemových. Pracuje se zde s teorií, že samotná rašelina obsahuje málo živin a má nízké hodnoty pH. Naproti tomu digestát má více živin a vyšší pH (>7).

Z hodnot uvedených v tabulce (tab. č. 5) lze vyčíst průkaznou odlišnost substrátů z hlediska hodnoty pH. Nejvyšší hodnoty byly zaznamenány u kontrolní varianty: Pěstební substrát B. Mezi ostatními substráty byly rozdíly neprůkazné. Rozdíly v sušině jsou nesignifikantní, tedy zanedbatelné. Při stanovení přijatelného fosforu metodou Mehlich 3 je podobnost mezi kontrolním substrátem Gramoflor a rašelinou s 5% neseparovaného digestátu. Další podobnost vykazuje rašelina s 10 % neseparovaného digestátu s rašelinou s 15 % digestátu. Stanovení fosforu pomocí činidla CAT ukazuje podobnost vzorku s 5 % digestátu s oběma kontrolními substráty. Naopak rašelina s 10 % i 15 % vykazuje hodnoty výrazně vyšší. Nejvyšší množství fosforu bylo v případě obou metod naměřeno u substrátu s 15 % digestátu.

Nejvyšší množství čerstvé nadzemní hmoty rostlin vykazuje varianta s 15 % digestátu. Naopak nejvyšší procento sušiny je u kontrolního pěstebního substrátu B a u variant s digestátem je to u rašeliny s 5 % neseparovaného digestátu.

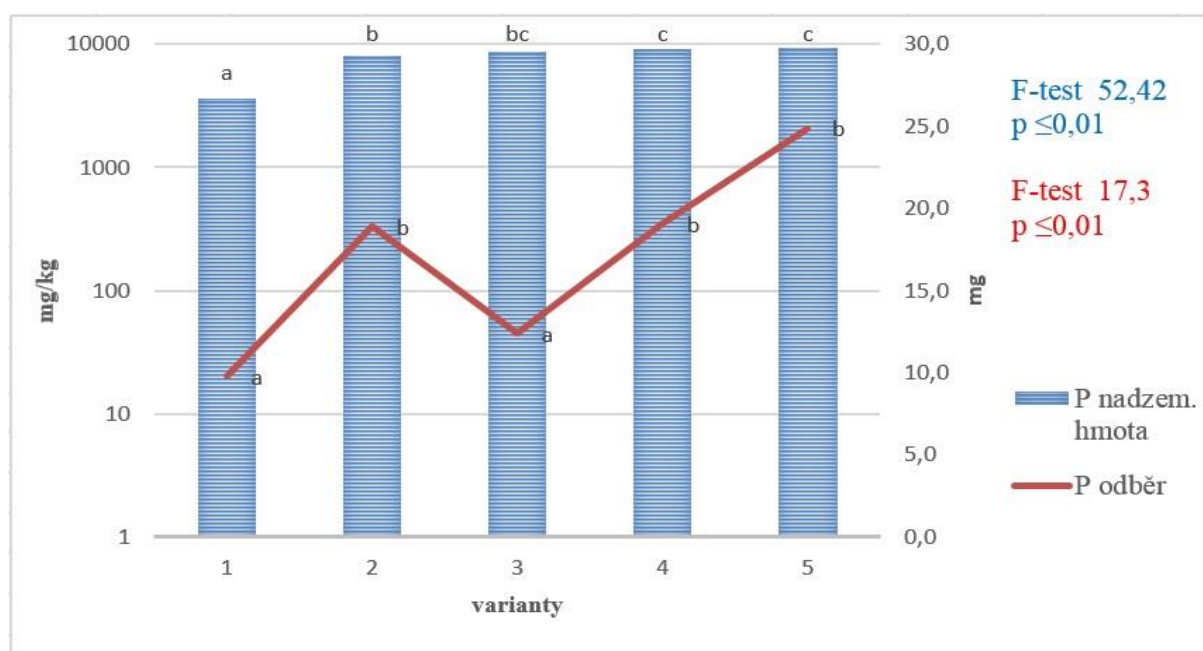
Tab. č. 5: Charakteristika substrátů a nadzemní hmoty rostlin po sklizni v roce 2011

varianta	Substrát				Nadzem. hmota	
	pH 0,01M CaCl ₂	sušina (%)	P _{Mehlich 3} (mg/kg)	P _{CAT} (mg/kg)	čerstvá hmotn. (g)	sušina (%)
Pěstební substrát B	5,0 ^a	47,5	133 ^a	7,34 ^a	31,8 ^{bc}	8,7 ^c
Gramoflor	4,1 ^b	39,8	211 ^b	10,3 ^a	28,9 ^b	8,1 ^{bc}
Rašelina + 5% n.d.	3,8 ^b	36,8	221 ^b	9,55 ^a	18,6 ^a	7,7 ^{ab}
Rašelina + 10% n.d.	4,2 ^b	33,6	328 ^c	18,9 ^b	28,9 ^b	7,1 ^a
Rašelina + 15% n.d.	4,3 ^b	39,1	366 ^c	44,5 ^c	36,1 ^a	7,5 ^{ab}
F test	17,8	1,46	25,2	93,4	9,33	4,41
Hladina významnosti	0,01	ns	0,01	0,01	0,01	0,05

Graf č. 1 znázorňuje odběry fosforu rostlinami v poměru s fosforem v jejich nadzemní hmotě. Je zde znatelná podobnost mezi substráty s 10 % a 15 % neseperovaného digestátu v případě obsahu P v nadzemní hmotě rostlin. Dalším znakem je i podobnost substrátu s 5 % digestátu se substrátem, který ho obsahuje 10 % i s kontrolním Gramoflorem. Viditelná je i podobnost v případě odběru fosforu rostlinami u kontrolního Gramofloru a 10 % a 15 % digestátu v substrátu. Další shoda se nachází mezi kontrolním pěstebním substrátem B a vzorkem rašeliny s 5 % digestátu.

Nejvyšší odběr fosforu rostlinou vykazuje substrát s obsahem 15 % digestátu. Nejnižší obsah fosforu v nadzemní hmotě má kontrolní pěstební substrát B. Shodně je v tomto substrátu i nejmenší odběr fosforu rostlinou. Ze vzorků s přimíchaným digestátem má potom nejnižší obsah fosforu v nadzemní hmotě substrát s 5 % digestátu, statisticky však mezi tímto a ostatními substráty s digestátem není průkazný rozdíl. Ohledně odběru fosforu z rostliny má ze sledovaných vzorků s digestátem nejmenší množství opět substrát s 5 % digestátu, který je průkazně odlišný od zbylých dvou variant s 10 a 15 % digestátu.

Graf č. 1: Porovnání odběru fosforu s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin 2011



Rok 2012

V roce 2012 nebyly zaznamenány průkazné rozdíly v hodnotách pH mezi kontrolními ani testovanými substráty po sklizni pokusů (tabulka č. 6). Toto ukazuje na fakt, že vyšší přídavek digestátu vedl k trvalejšímu zvýšení hodnoty pH. Vyšší přídavky digestátu způsobily naopak průkazné rozdíly v sušině substrátů, kde byla nejvyšší hodnota zaznamenána u kontrolního pěstebního substrátu B. S vyšším přídavkem digestátu se podíl sušiny substrátu neprůkazně snižoval. Rozdíly byly zaznamenány rovněž v obsahu přístupného fosforu, a to v případě obou použitých metod. U metod Mehlich 3 a CAT se obsah fosforu přídavkem digestátu v substrátu průkazně zvyšoval. V případě metody Mehlich 3 byly u všech substrátů s digestátem dosaženy vyšší obsahy přístupného P ve srovnání s kontrolními substráty. Metoda CAT potvrdila tento fakt pouze v případě přídavku 20 a 25 % digestátu.

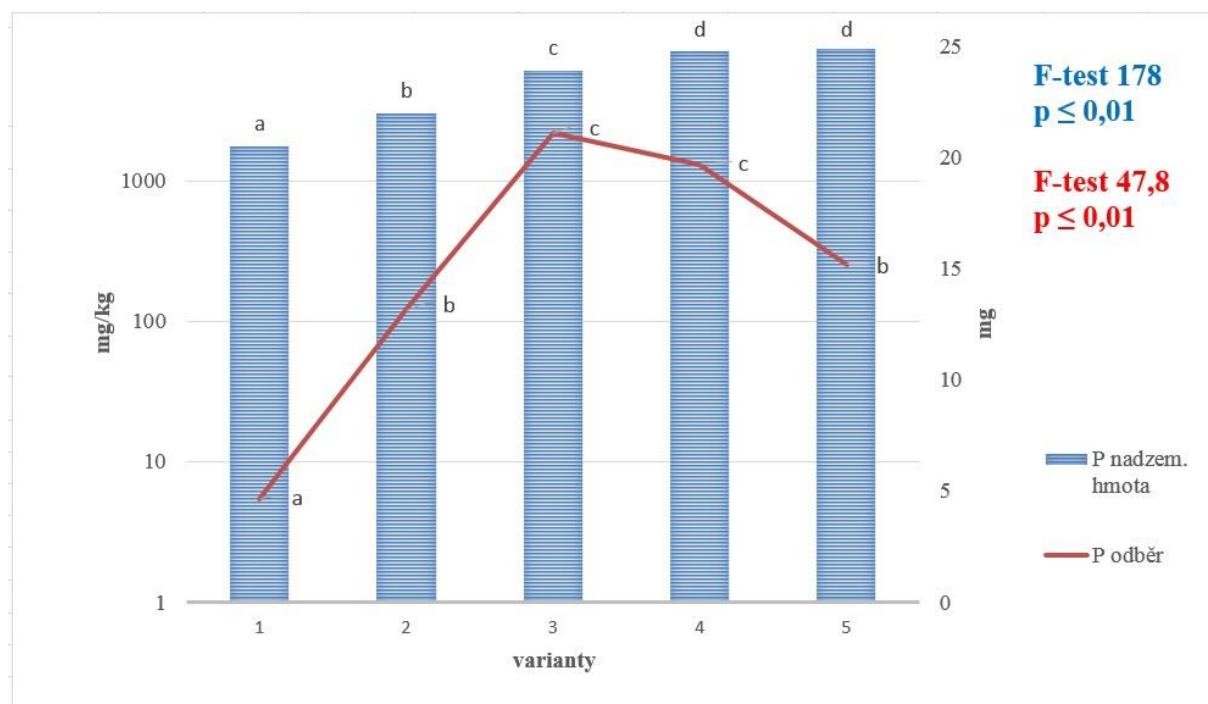
Průkazně nejvyšší výnosy čerstvé nadzemní hmoty rostlin byly zaznamenány u variant Gramoflor a rašelina s 10 % n.d. Vyšší přídavek digestátu již pravděpodobně vykazoval toxické účinky, neboť zde bylo dosaženo průkazně nižších výnosů ve srovnání s kontrolními variantami. Mezi sušinou nadzemní hmoty byly rovněž zaznamenány statisticky průkazné rozdíly, avšak pouze při nižší hladině významnosti. Vyšší hodnoty vykazovaly substráty Gramoflor a rašelina s 20 % n.d.

Tab č. 6: Charakteristika substrátů a nadzemní hmoty rostlin po sklizni v roce 2012

varianta	Substrát				Nadzem. hmota	
	pH 0,01M CaCl ₂	sušina (%)	P Mehlich 3 (mg/kg)	P CAT (mg/kg)	čerstvá hmotn. (g)	sušina (%)
Pěstební substrát B	4,5	38,4 ^b	116 ^a	5,62 ^a	34,8 ^b	7,72 ^{ab}
Gramoflor	4,38	28,7 ^a	115 ^a	8,5 ^a	47,7 ^c	9,31 ^b
Rašelina + 10% n.d. *	4,03	28,8 ^a	277 ^b	7,02 ^a	46,9 ^c	7,46 ^a
Rašelina + 20% n.d.	4,15	25,3 ^a	557 ^c	48,5 ^b	23 ^a	9,3 ^b
Rašelina + 25% n.d.	4,18	24,5 ^a	662 ^d	71,7 ^c	20,5 ^a	8,6 ^{ab}
F test	1,45	6,29	147,1	136	41,5	4,29
Hladina významnosti	ns	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05

Z grafu č. 2. Je zřejmé, že se stoupajícím podílem digestátu stoupal i obsah P v sušině nadzemní hmoty rostlin. Podíl fosforu zde byl dokonce vždy průkazně vyšší ve srovnání s kontrolami. Podobnou tendenci lze sledovat i v případě odběrů P rostlinami. V případě variant s 10 a 20 % digestátu byl odběr průkazně vyšší než u kontrol, poté (u 25 % podílu) došlo k poklesu na úroveň substrátu Gramoflor. U pěstebního substrátu B byl obsah P v nadzemní hmotě rostlin i odběr P průkazně nejnižší.

Graf č. 2: Porovnání odběru fosforu s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin 2012



Rok 2013

Pokusy z roku 2013 kombinují nejen rašelinu s neseparovaným digestátem, ale také, kvůli dlouhodobější úpravě hodnoty pH, je přidáván dolomit (tabulka č. 7). Samotný přírůstek neseparovaného digestátu pH zvyšuje, ale pouze krátkodobě, proto bylo nutné dodat stabilizující prvek. Přídatky dolomitu činily 3 a 6 g/l.

Výsledky vykazují průkazné odlišnosti mezi substráty v hodnotě pH. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny u kontrolního substrátu a substrátu s nejvyšším podílem digestátu i dolomitu. Naopak nejnižší hodnota byla průkazně naměřena u varianty s 5 % digestátu a 3 g/l dolomitu. Rozdíly v sušině substrátů byly nesignifikantní.

V případě měření hodnot fosforu v substrátu proběhla pouze hodnocení pomocí činidla CAT. Výsledky tohoto měření stanovují statisticky významné rozdíly v množství fosforu. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny u rašeliny s 10 % přidaného digestátu a s nižším přírůstkem dolomitu.

Výsledky měření čerstvé hmotnosti nadzemní hmoty bazalek nevykazují stoupající tendenci, spíše proměnlivé hodnoty. Nižší hodnoty shodně vykazovaly substráty s nižším přírůstkem dolomitu. Průkazně nejvyšší hodnota čerstvé hmoty byla naměřena u kontrolní varianty. Mezi variantami s přírůstkem digestátu nebyl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl, avšak s přírůstkem dolomitu stoupal i výnos nadzemní hmoty. Stanovení hodnot sušiny v nadzemní hmotě bylo neprůkazné.

Tab. č. 7: Charakteristika substrátů a nadzemní hmoty rostlin po sklizni v roce 2013

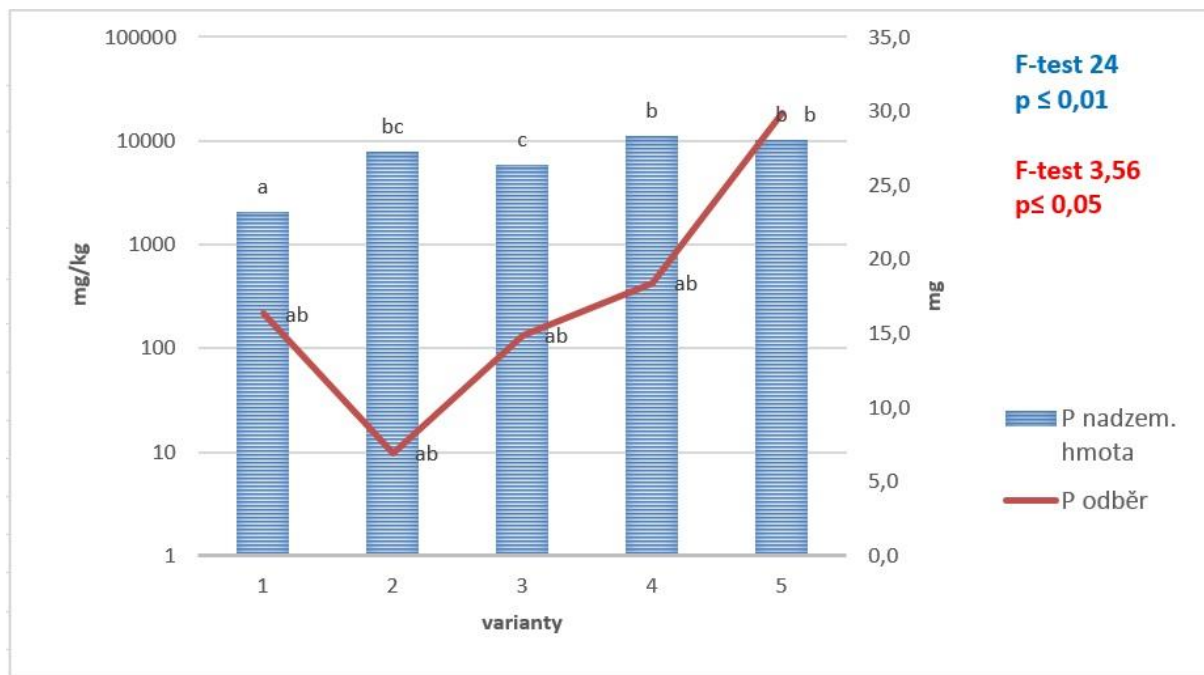
varianta	Substrát			Nadzem. Hmot	
	pH 0,01 M _{CaCl} ₂	sušina (%)	CAT P (mg/kg)	čerstvá hmotn. (g)	sušina (%)
Pěstební substrát B	4,7	51,5	24,9	47,3	16,5
Rašelina + 5% n.d. + 3 g/l v.d.	3,9	42	44,6	8,05	21,7
Rašelina + 5% n.d. + 6 g/l v.d.	4,3	66,8	24,9	16,7	15,8
Rašelina + 10% n.d. + 3 g/l v.d.	4,2	48,5	128,3	8,88	27,1
Rašelina + 10% n.d. + 6 g/l v.d.	4,75	44,8	73,8	23,5	18,4
F test	58,6	3,92	5,16	10,3	0,58
Hladina významnosti	0,01	ns	0,01	0,01	ns

Hodnoty fosforu v nadzemní hmotě vykazují proměnlivou tendenci (graf č. 3). Měření byly stanoveny průkazné rozdíly mezi hodnotami v jednotlivých variantách.

Nejvyšší množství fosforu bylo naměřeno u substrátů s přidavkem 10 % digestátu. Nejnížší naopak u kontrolní varianty.

Stanovení odběru fosforu rostlinou vykazuje průkazné rozdíly, je nutné vzít však v potaz nižší hladinu významnosti. Nejvyšší množství odebraného fosforu bylo stanoveno u varianty s 10 % n.d. a 6 g/l dolomitu.

Graf č. 3: Porovnání odběru fosforu s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin 2013



Rok 2014

V následujících letech byl nadále přidáván vápnitý dolomit v hodnotách 10 g/l a 15g/l. Jak je patrné z tabulky č. 8, měřením byly prokázány znatelné rozdíly v hodnotách pH v substrátu, nejvyšší hodnota byla naměřena u varianty s 5 % digestátu a 10 g/l dolomitu. Všechny testované varianty vykazovaly vyšší pH než kontrolní, varianty 2, 3 a 5 dokonce průkazně.

Rozdíly v hodnotách sušiny substrátů jsou neprůkazné. Stanovení hodnot fosforu v substrátech, proběhlo pouze čínidlem CAT. Byly stanoveny průkazné rozdíly v množství fosforu v substrátech. Hodnoty vykazují stoupající tendenci, nejnížší hodnoty byly naměřeny u kontrolního Zahradnického substrátu Primaflora a variant s nižším přidavkem digestátu. Hodnoty u substrátů s vyšším přidavkem digestátu byly naproti tomu průkazně vyšší.

Mezi variantami byly naměřeny rozdíly v množství čerstvé hmotnosti nadzemní hmoty bazalek. Ze vzorků s přimíchaným digestátem vykazuje nejvyšší hodnoty varianta s 10 % digestátu a 10 g/l dolomitu. Průkazně nejvyšší výnos nadzemní hmoty byl však naměřen u kontrolního substrátu. Rozdíly mezi obsahy sušiny v nadzemní hmotě byly stanoveny jako statisticky neprůkazné.

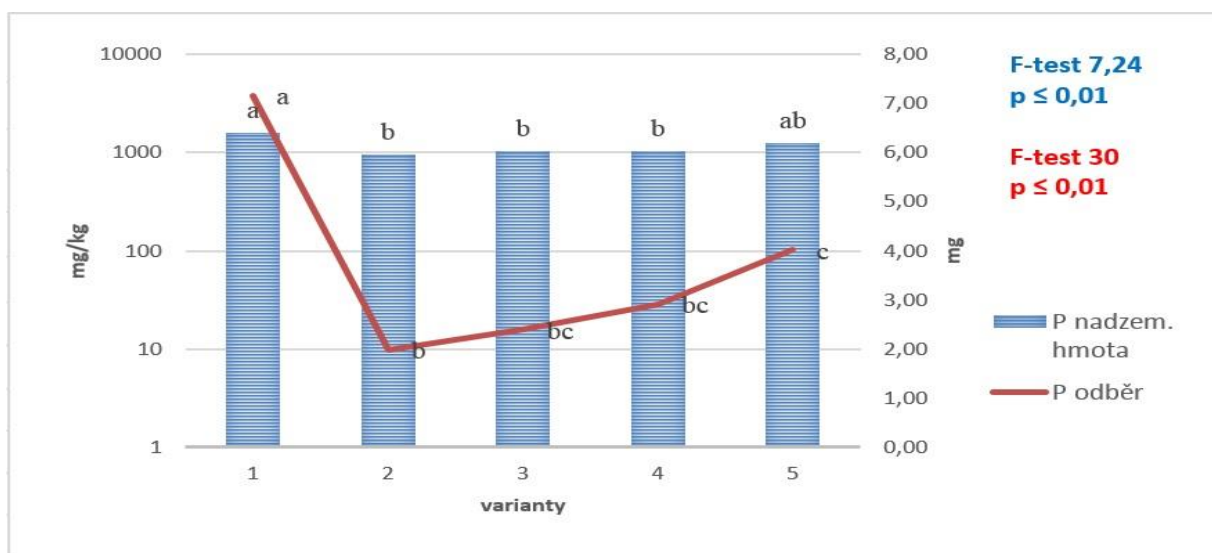
Tab č. 8: Charakteristika substrátů a nadzemní hmoty rostlin po sklizni v roce 2014

varianta	Substrát			Nadzem. hmota	
	pH H ₂ O	sušina (%)	P _{CAT} (mg/kg)	čerstvá hmotn. (g)	sušina (%)
Zahradnický substrát Primaflora	5,18 ^a	49,4	44,9 ^a	45 ^a	10,1
Rašelina + 5 % n.d. + 10 g/l v.d.	5,48 ^b	51,7	58,6 ^a	25,2 ^{bc}	8,32
Rašelina + 5 % n.d. + 15 g/l v.d.	5,4 ^b	52,9	49,6 ^a	24,8 ^b	9,28
Rašelina + 10 % n.d. + 10 g/l v.d.	5,25 ^{ab}	61,3	126 ^b	31,6 ^c	8,94
Rašelina + 10 % n.d. + 15 g/l v.d.	5,43 ^b	62,7	141 ^b	30,3 ^{bc}	10,7
F test	8,57	0,55	170	36,9	1,46
Hladina významnosti	0,01	ns	0,01	0,01	ns

Hodnocení fosforu v nadzemní hmotě vykazuje průkazné rozdíly mezi jednotlivými variantami. Mezi variantami s přidavkem digestátu lze vysledovat mírně stoupající tendenci. Průkazně nejvyšší obsah fosforu v nadzemní hmotě byl však naměřen pouze u kontrolního substrátu. Podobnou tendenci lze pozorovat i u hodnocení odběru fosforu rostlinou (graf č. 4).

Nejnižší množství fosforu, jak v nadzemní hmotě rostliny, tak v odběru, bylo shodně naměřeno u substrátu s přidavkem 5 % neseparovaného digestátu společně s 10 g/l vápenného dolomitu, nejvyšší byly naopak vždy hodnoty u kontrolního substrátu.

Graf č. 4: Porovnání odběru fosforu s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin 2014



Celkové zhodnocení

V této kapitole je uvedeno celkové hodnocení pokusů probíhajících s bazalkou pravou v letech 2011-2014.

- Ve vstupních substrátech s vyšším přídatkem digestátu klesal podíl sušiny ve výsledných substrátech. Po sklizni pokusů nebyly zaznamenány průkazné rozdíly v sušině substrátů, s výjimkou roku 2012, kde byl průkazně nejvyšší podíl sušiny stanoven u kontrolního substrátu.
- Po aplikaci digestátu do substrátu došlo ke zvýšení hodnoty pH ve vstupních substrátech. Zvýšení pH rovněž způsobil i přídatek dolomitu. Po sklizni pokusů došlo k výraznému poklesu pH u substrátů s digestátem bez přídatku dolomitu ve srovnání s kontrolními. Po přidání dolomitu v dávkách 10 a 15 g/l byla hodnota pH u rašeliny s 10 % digestátu srovnatelná s kontrolním substrátem. V případě ostatních variant bylo pH dokonce průkazně vyšší.
- V substrátech před založením pokusu došlo ke zvýšení obsahu přístupného fosforu se stoupající dávkou digestátu. Tato stoupající tendence byla patrná i po sklizni pokusu, a to většinou statisticky průkazně.
- Nejvyšších výnosů dosahovaly zpravidla rostliny pěstované na kontrolních substrátech. Se stoupajícím přídatkem digestátu většinou klesal podíl sušiny v nadzemní hmotě rostlin.
- Ve většině případů se se stoupajícím podílem digestátu zvyšoval i obsah fosforu v nadzemní hmotě rostlin a současně i odběr P.

5.14 Gazanie zářivá (*Gazania rigens*, L.)

Hodnocení po sklizni

Tato hodnocení probíhala u gazanie zářivé mezi lety 2011 – 2013. Byly měřeny hodnoty pH, hmotnosti nadzemní hmoty, podíly sušiny, přijatelného fosforu v substrátu i celkového v rostlině a jeho odběr. V dalších kapitolách jsou rozepsány jednotlivé roky.

Rok 2011

V roce 2011 nebyl do směsi přidáván vápnný dolomit a tak jsou patrné výkyvy hodnot pH po sklizni substrátu (tab č. 9). Hodnoty mají mezi sebou průkazné rozdíly a nejnižší pH vykazuje ze směsí s digestátem varianta s 5 %.

Měření sušiny v substrátu neprokázalo signifikantní rozdíly mezi jednotlivými variantami.

Oběma metodami stanovení fosforu bylo shodně naměřeno průkazně nejvyšší množství u substrátu s největším přídatkem neseparovaného digestátu.

Stanovení statistické průkaznosti hodnot čerstvé hmotnosti a sušiny nadzemní hmoty rostlin bylo nesignifikantní.

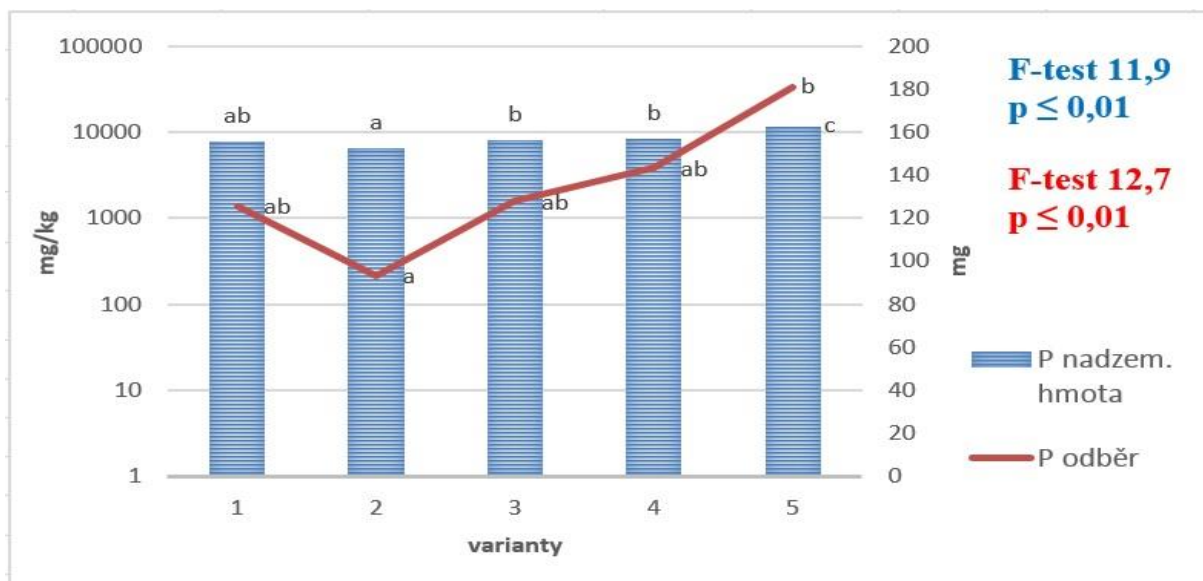
Tab č. 9: Charakteristika substrátů a nadzemní hmoty rostlin po sklizni v roce 2011

varianta	Substrát				Nadzem. hmota	
	pH 0,01M CaCl ₂	sušina (%)	P Mehlich 3 (mg/kg)	P _{CAT} (mg/kg)	čerstvá hmotn. (g)	sušina (%)
Substrát Baltica	4,93 ^a	24,5	294 ^c	24,7 ^{ab}	49,3	34,4
Gramoflor	4,53 ^a	29,1	81,3 ^a	7,93 ^{ab}	37,1	45,2
Rašelina + 5% n.d.	3,78 ^b	30,9	104 ^a	8,64 ^{ab}	41,3	38,8
Rašelina + 10% n.d.	4,28 ^{ab}	31	234 ^b	28,6 ^b	61,5	28,2
Rašelina + 15% n.d.	4,5 ^a	36,3	313 ^c	53,0 ^c	51,9	31
F-test	7,76	1,84	37,85	21	2,86	1,86
Hladina významnosti	0,01	ns	0,01	0,01	ns	ns

V hodnotách fosforu v rostlinách byly stanoveny statisticky průkazné rozdíly mezi jednotlivými variantami. Lze pozorovat shodně rostoucí hodnoty fosforu týkající se substrátu s přidáním neseparovaným digestátem (graf č. 5).

Nejnižší množství fosforu bylo naměřeno u kontrolního substrátu Gramoflor. Nejvyšší množství odběru fosforu rostlinou bylo stanoveno u varianty s 15 % digestátu. Hodnoty odběru prvku rostlinou vykazovaly rostoucí tendenci.

Graf č. 5: Porovnání odběru fosforu s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin 2011



Rok 2012

Z měření v roce 2012 byly nejvyšší hodnoty pH stanoveny u Pěstebního substrátu B. Z variant s přidáním digestátu to byl potom substrát s přidavkem 25 %. Hodnoty pH u variant s digestátem stoupaly se zvyšujícím se procentem digestátu.

Mezi hodnotami sušiny substrátů u jednotlivých variant nebyly průkazné statistické rozdíly (tab č. 10).

Hodnocení fosforu v substrátech metodou Melich 3 stanovilo průkazné rozdíly mezi variantami. Nejvyšší množství fosforu bylo stanoveno u rašeliny s 20 a 25 % digestátu. Toto bylo potvrzeno i měřením pomocí činidla CAT.

Odlišnosti v čerstvé hmotnosti nadzemní hmoty gazání byly neprůkazné. Stejně tak i hodnoty sušiny nadzemní hmoty byly statisticky nesignifikantní.

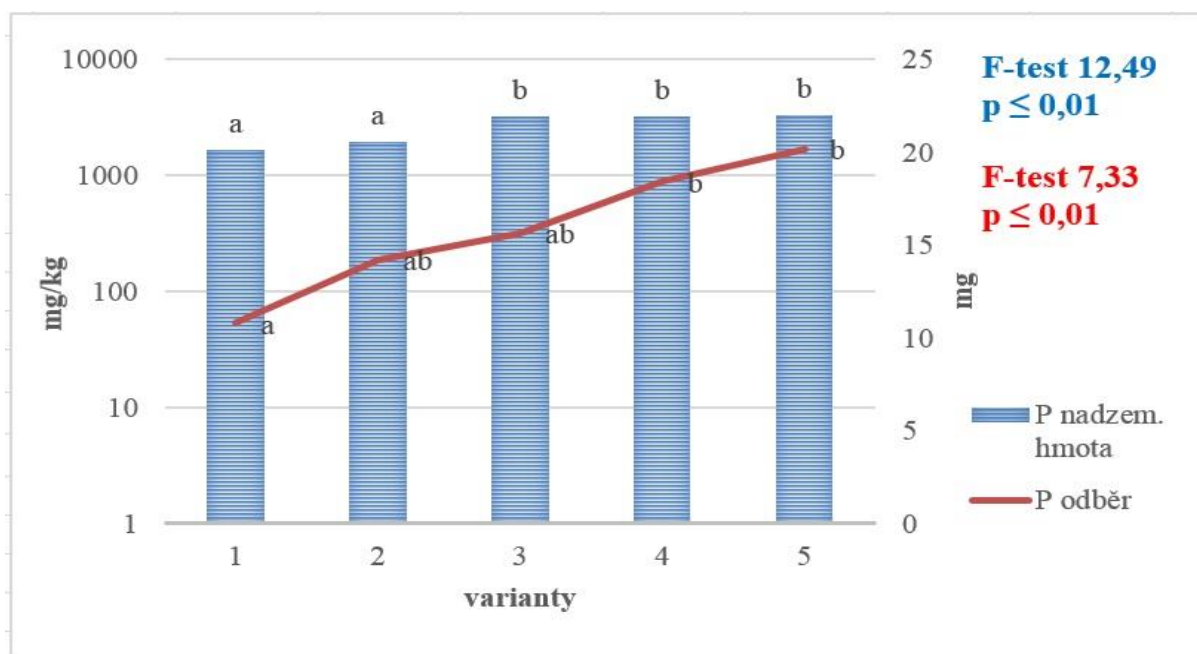
Tab č. 10: Charakteristika substrátů a nadzemní hmoty rostlin po sklizni v roce 2012

varianta	Substrát				Nadzem. hmota	
	pH 0,01M CaCl ₂	sušina (%)	P Mehlich 3 (mg/kg)	P CAT (mg/kg)	čerstvá hmotn. (g)	sušina (%)
Pěstební substrát B	5,03 ^a	41,9	123 ^{ab}	6,11 ^a	65,1	10,1
Gramoflor	4,5 ^b	36,7	86,2 ^a	6,27 ^a	70,6	10,5
Rašelina + 10% n.d.	4,03 ^c	38	188 ^b	21,5 ^b	52,9	9,64
Rašelina + 20% n.d.	4,08 ^c	27,7	643 ^c	70,9 ^c	59,3	9,88
Rašelina + 25% n.d.	4,4 ^b	46,3	626 ^c	61,1 ^c	62,3	10
F-test	50,6	1,45	134,36	121	0,93	0,4
Hladina významnosti	0,01	ns	0,01	0,01	ns	ns

Jak je patrné z grafu č. 6, v odběrech fosforu rostlinou je stoupající vývoj. Též jsou zde stanoveny průkazné statistické rozdíly mezi variantami. Nejvyšší množství vykazovaly substráty s nejvyššími přídávky digestátu (20 a 25 %).

U obsahu fosforu v nadzemní hmotě bylo stanoveno průkazně vyšší množství P u substrátů se všemi podíly digestátu ve srovnání s kontrolami.

Graf č. 6: Porovnání odběru fosforu s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin 2012



Rok 2013

Jak ukazuje tabulka č. 11, při pokusech v roce 2013 byl do substrátů pro gazání zářivé přimíchán přídatek dolomitu v hodnotách 3 g/l a 6 g/l. Toto bylo opět provedeno pro stabilizaci hodnot pH.

Mezi variantami jsou průkazné rozdíly při stanovení hodnot pH. Nejvyšší hodnotu z testovaných substrátů potom vykazoval substrát s nejvyšším množstvím digestátu i dolomitu (4,70), která byla téměř shodná s kontrolní variantou (4,73).

Rozdíly mezi jednotlivými substráty v naměřených hodnotách sušiny byly neprůkazné. Nejvyšší podíl však vykazuje opět varianta s nejvyšším množstvím digestátu i dolomitu.

Hodnocení fosforu v substrátech proběhlo pouze pomocí činidla CAT. Toto měření stanovilo průkazné rozdíly mezi jednotlivými variantami. Nejnížší hodnoty fosforu v substrátu byly naměřeny u varianty s nejnížším množstvím digestátu i nižším přídatkem dolomitu a byly téměř shodné s kontrolní variantou. Průkazně vyšších hodnot dosahovaly naopak substráty s přídatkem 10 % digestátu.

Rozdíly mezi variantami ohledně čerstvé hmotnosti nadzemní hmoty a též její sušiny byly statisticky neprůkazné.

Tab č. 11: Charakteristika substrátů a nadzemní hmoty rostlin po sklizni v roce 2013

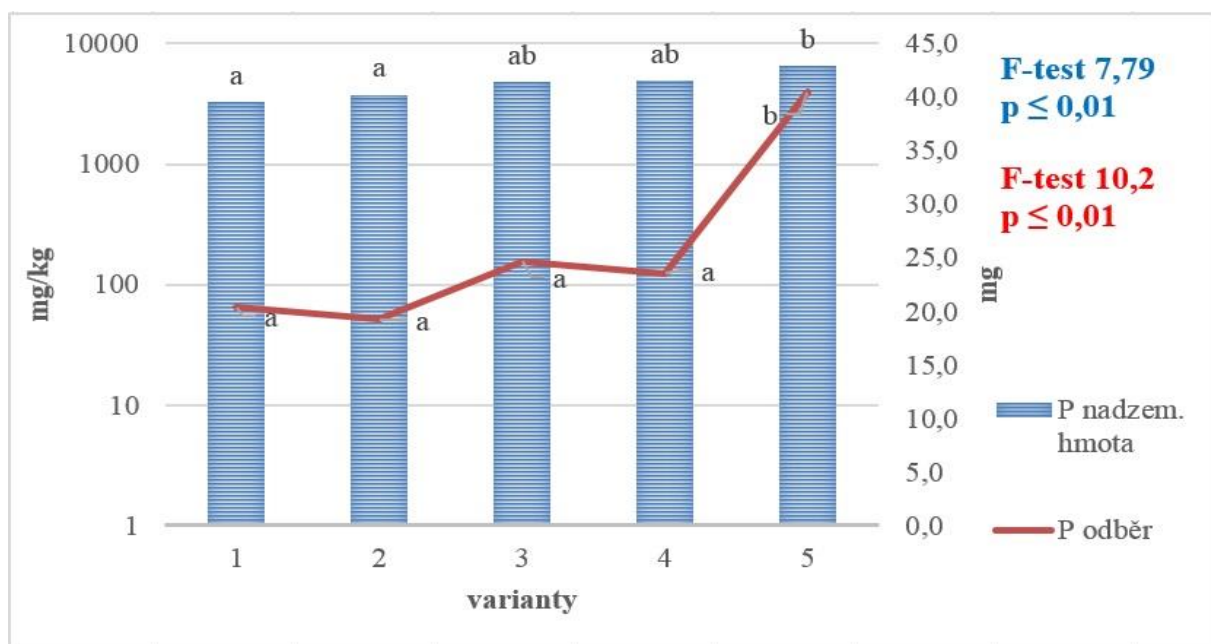
varianta	Substrát				Nadzem. hmota
	pH 0,01M CaCl ₂	sušina (%)	P _{CAT} (mg/kg)	čerstvá hmotn. (g)	sušina (%)
Pěstební substrát B	4,73 ^a	51,7	23,7 ^a	63,1	10
Rašelina + 5% n.d. + 3 g/l v.d.	4,05 ^b	44	22,2 ^a	48,5	10,6
Rašelina + 5% n.d. + 6 g/l v.d.	4,38 ^{ab}	44,5	24,2 ^a	44,7	11,3
Rašelina + 10% n.d. + 3 g/l v.d.	4,23 ^{ab}	52,8	66,3 ^b	45	10,9
Rašelina + 10% n.d. + 6 g/l v.d.	4,7 ^a	55,2	52,3 ^b	56,1	11,2
F-test	8,81	1,4	17,9	4,1	0,71
Hladina významnosti	0,01	ns	0,01	ns	ns

Měření stanovilo rozdíly mezi hodnotami fosforu v nadzemní hmotě gazání. Tyto hodnoty vykazují stoupající trend (graf č. 7) a kontrolní varianta se zde zásadně liší od variant s nejvyššími přídatky digestátu. Naopak hodnoty odběru fosforu rostlinami vykazují proměnlivou tendenci, avšak výsledky byly taktéž statisticky průkazně rozdílné. Jednalo se

zde o průkazný rozdíl mezi variantami 1-4 a variantou 5 s nejvyšším podílem digestátu i dolomitu.

Průkazně nejvyšší hodnoty obsahu i odběru fosforu vykazovala shodně poslední varianta s 10 % digestátu a 6 g/l dolomitu.

Graf č. 7: Porovnání odběru fosforu s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin 2013



Celkové zhodnocení

V této kapitole je uvedeno celkové hodnocení pokusů s gazáníí zářivou probíhajících v letech 2011-2013.

- Hodnoty sušiny ve vstupních substrátech vykazovaly klesající tendenci spolu se zvyšujícím se procentem digestátu. Po sklizni vykazovaly hodnoty sušiny tendenci proměnlivou s výjimkou roku 2011, kdy byly hodnoty stoupající se zvyšujícím se procentem digestátu
- Měření pH před založením pokusu vykazovala stoupající tendenci spolu se zvyšujícím se procentem digestátu. V hodnotách pH po sklizni byly stanoveny ve všech letech průkazné rozdíly mezi variantami. Ve všech letech vykazovaly nejvyšší hodnoty kontrolní substráty avšak v letech 2011 a 2013 byly spolu s nimi průkazně nejvyšší také hodnoty u substrátů s nejvyšším procentem digestátu.

- V hodnotách substrátů před sklizní je patrné jednoznačné zvýšení obsahu přístupného fosforu s přidavkem digestátu. Po sklizni byla tato tendence stále pozorovatelná, a to ve většině případů statisticky průkazně.
- Nadzemní hmota rostlin vykazovala ve všech letech nesignifikantní rozdíly mezi jednotlivými variantami, avšak ve dvou letech byly naměřeny nejvyšší hodnoty u kontrolních substrátů. Totéž se potvrdilo i u stanovení sušiny nadzemní hmoty.
- Ve stanoveních fosforu v nadzemní hmotě po sklizni vykazovaly nejvyšší hodnoty ve všech letech substráty s nejvyšším procentem digestátu. Toto se potvrdilo i u odběrů P rostlinami.

5.15 Máta peprná (*Mentha piperita*, L.)

Hodnocení po sklizni

Tato hodnocení probíhala u rostlin máty peprné v letech 2012, 2013 a 2015. Byly měřeny hodnoty pH, hmotnosti nadzemní hmoty, podíly sušiny, přijatelného fosforu v substrátu i celkového v rostlině a jeho odběr. V dalších kapitolách jsou rozepsány jednotlivé roky.

Rok 2012

Hodnocení v roce 2012 probíhala bez přidavků dolomitu k úpravě pH (tabulka č. 12). K rašelině byl přimícháván pouze neseparovaný digestát.

Měření hodnot pH stanovilo jednoznačné rozdíly mezi testovanými variantami. Nejnižší výsledky vykazovala varianta s 5 % digestátu a nejvyšší naopak kontrolní varianta. Je možné vysledovat rostoucí tendenci pH u substrátů s přidavkem digestátu.

Při stanovení hodnot sušiny v substrátech byla též prokázána statistická odlišnost jednotlivých variant. Nejvyšší procento sušiny bylo naměřeno u kontrolního substrátu.

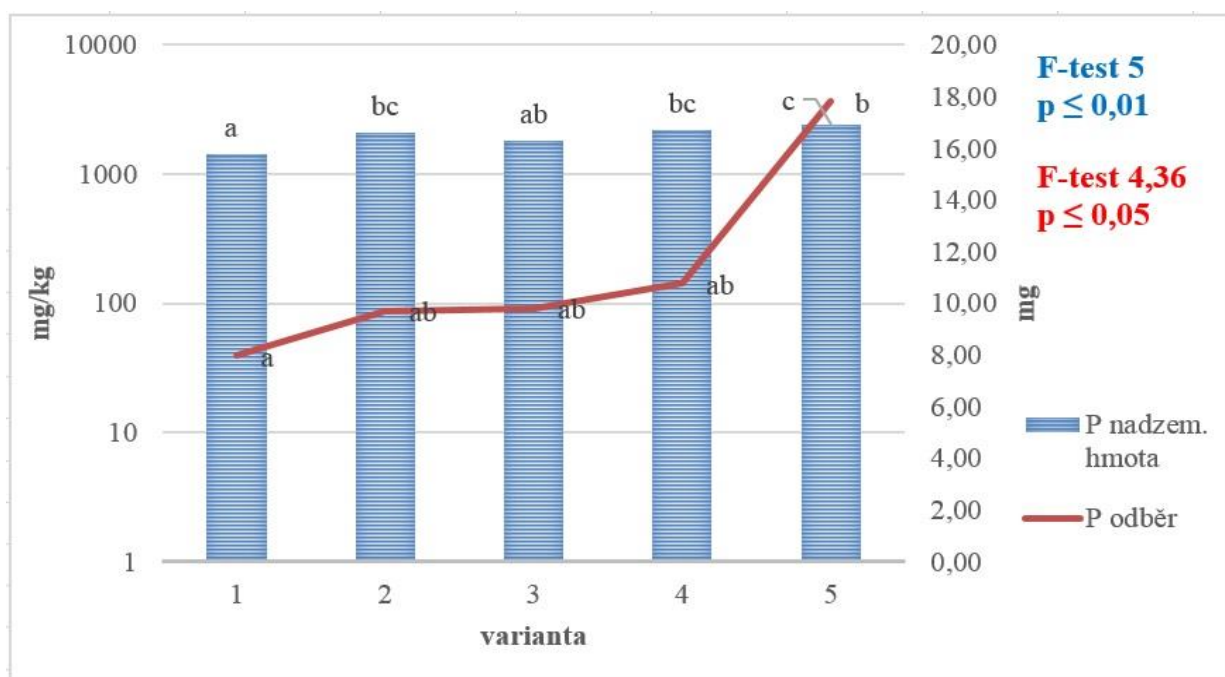
Stanovení hodnot fosforu v substrátu metodou Mehlich 3 rovněž prokázala statistickou odlišnost jednotlivých variant. U variant s přidavkem digestátu je možné pozorovat vzrůstající vývoj. Tento fakt potvrzuje stanovení fosforu v substrátu pomocí činidla CAT i Mehlich 3. Měření čerstvé hmotnosti nadzemní hmoty rostlin nebyly stanoveny průkazné rozdíly mezi jednotlivými variantami. Stejný, statisticky neprůkazný výsledek, byl vyhodnocen i u sušiny nadzemní hmoty.

Tab č. 12: Charakteristika substrátů a nadzemní hmoty rostlin po sklizni v roce 2012

varianta	Substrát				Nadzem.hmota	
	pH 0,01M CaCl ₂	sušina (%)	P _{Mehlich 3} (mg/kg)	P _{CAT} (mg/kg)	čerstvá hmotn. (g)	sušina (%)
Pěstební substrát B	5,05 ^a	39,7 ^b	134 ^d	77,5 ^d	34,2	16,7
Gramoflor	4,75 ^b	25,7 ^a	107 ^c	60 ^c	31,4	15
Rašelina + 5% n.d.	3,83 ^c	24,4 ^a	28,1 ^a	21,3 ^a	37,4	14,3
Rašelina + 10% n.d.	4,2 ^b	26,9 ^a	50,4 ^b	34,5 ^b	39,6	12,9
Rašelina + 15% n.d.	4,3 ^b	26,7 ^a	147 ^d	81 ^d	55,9	13,5
F test	54,5	6,58	57,04	48,6	2,01	1,66
Hladina významnosti	0,01	0,01	0,01	0,01	ns	ns

Dle výsledků patrných z grafu č. 8 jsou zřejmé statisticky průkazné rozdíly u jednotlivých variant v množství fosforu v nadzemní hmotě rostlin. Nejvyšší hodnoty vykazuje substrát s příměsí 15 % digestátu. Mezi testovanými variantami lze opět sledovat stoupající tendenci množství fosforu v nadzemní hmotě rostlin se stoupajícím přídatkem digestátu. V množství fosforu odebraným rostlinou byla také stanovena statistická odlišnost mezi substráty, ale na nižší hladině významnosti. Nejvyšší hodnoty odběru fosforu rostlinou byly stanoveny u substrátu s nejvyšším přídatkem neseparovaného digestátu.

Graf č. 8: Porovnání odběru fosforu s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin 2012



Rok 2013

V roce 2013, jak ukazuje tabulka č. 13, byl do hodnocených substrátů přidán dolomit (3 g/l a 6 g/l). Hodnoty pH mezi jednotlivými variantami vykazují statisticky průkaznou rozdílnost. Nejvyšší pH bylo naměřeno u kontrolního Pěstebního substrátu B. V případě variant s přidavkem digestátu bylo vyhodnoceno nejvyšší pH u substrátu s 10 % digestátu a 6 g/l dolomitu. Vyhodnocení procentuálního zastoupení sušiny v substrátech ukázalo statisticky neprůkazné rozdíly mezi jednotlivými variantami.

Hodnocení fosforu v substrátu proběhlo pouze pomocí činidla CAT. Rozdíly v obsahu fosforu mezi hodnocenými substráty byly statisticky neprůkazné.

Hmotnost čerstvé nadzemní hmotnosti přineslo též neprůkazné rozdíly mezi variantami. Stejně tak byly statisticky neprůkazné odlišnosti vyhodnoceny i při stanovení sušiny nadzemní hmoty rostlin.

Tab č. 13: Charakteristika substrátů a nadzemní hmoty rostlin po sklizni v roce 2013

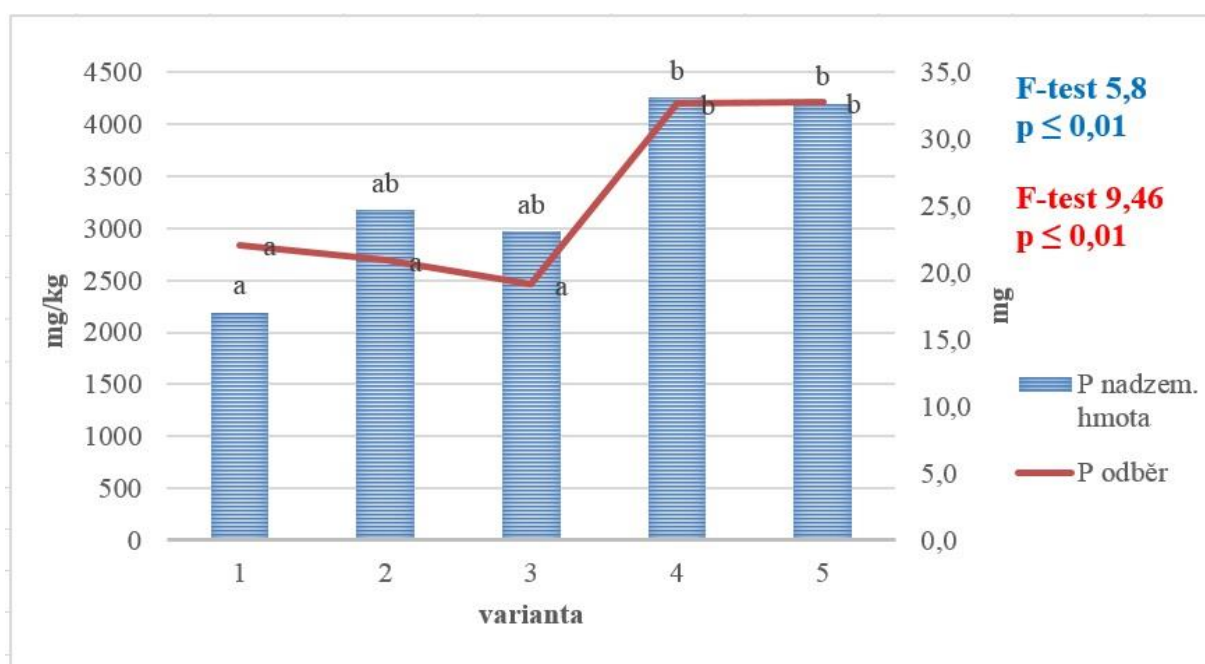
varianta	Substrát			Nadzem.hmotn.	
	pH 0,01M CaCl ₂	sušina (%)	P _{CAT} (mg/kg)	čerstvá hmotn. (g)	sušina (%)
Pěstební substrát B	5 ^a	47,5	33,5	45,8	22,3
Rašelina + 5 % n.d + 3 g/l v.d.	3,93 ^b	33,5	32,1	34,5	20,1
Rašelina + 5 % n.d. + 6 g/l v.d.	4,4 ^c	34,2	16,5	35,6	19,7
Rašelina + 10 % n.d. + 3 g/l v.d.	4,25 ^c	33,9	39,8	47,3	16,3
Rašelina + 10 % n.d. + 6 g/l v.d.	4,7 ^d	36,0	45	47,4	16,9
F test	132	0,9	1,42	2,29	1,9
Hladina významnosti	0,01	ns	ns	ns	ns

Mezi jednotlivými variantami byly zjištěny statisticky významné rozdíly v obsahu fosforu v nadzemní hmotě rostlin (graf č. 9). Průkazně nejvyšší množství fosforu bylo stanoveno u obou substrátů s 10 % neseperovaného digestátu.

Taktéž u hodnocení odběru fosforu rostlinami byly stanoveny průkazné rozdíly mezi jednotlivými variantami. Podobné odběry byly zjištěny u kontrolního substrátu a substrátů s nižším podílem digestátu.

Naopak nejvyšší odběr fosforu vykazovaly opět varianty s 10 % digestátu a 3 g/l a 6 g/l dolomitického vápence.

Graf č. 9: Porovnání odběru fosforu s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin 2013



Rok 2015

V roce 2015 došlo ke zvýšení dávek dolomitického vápence na hodnoty 10 g/l a 15 g/l (tab č. 14). Mezi hodnotami pH jednotlivých variant byl stanoven statisticky průkazný rozdíl mezi substráty. Průkazně vyšší hodnoty byly zaznamenány u kontrolní varianty a varianty s 5 % digestátu a 15 g/l dolomitu.

Fosfor v substrátech proběhl pouze stanovením činidlem CAT. Měření hodnot sušiny v substrátech neprokázalo signifikantní rozdíly mezi variantami.

Nejvyšší množství fosforu v substrátu bylo naměřeno u kombinace rašeliny s 10 % digestátu a 15 g/l dolomitu. Naopak nejnižší hodnoty vykazovaly nižší dávky digestátu.

Hodnocení množství čerstvé hmotnosti nadzemní hmoty rostlin přineslo nesignifikantní rozdíly mezi variantami.

Stanovení sušiny v nadzemní hmotě naopak prokázalo statisticky významné rozdíly mezi substráty. Ze sledovaných variant s digestátem vykazovala nejvyšší množství sušiny nadzemní hmoty kontrolní varianta.

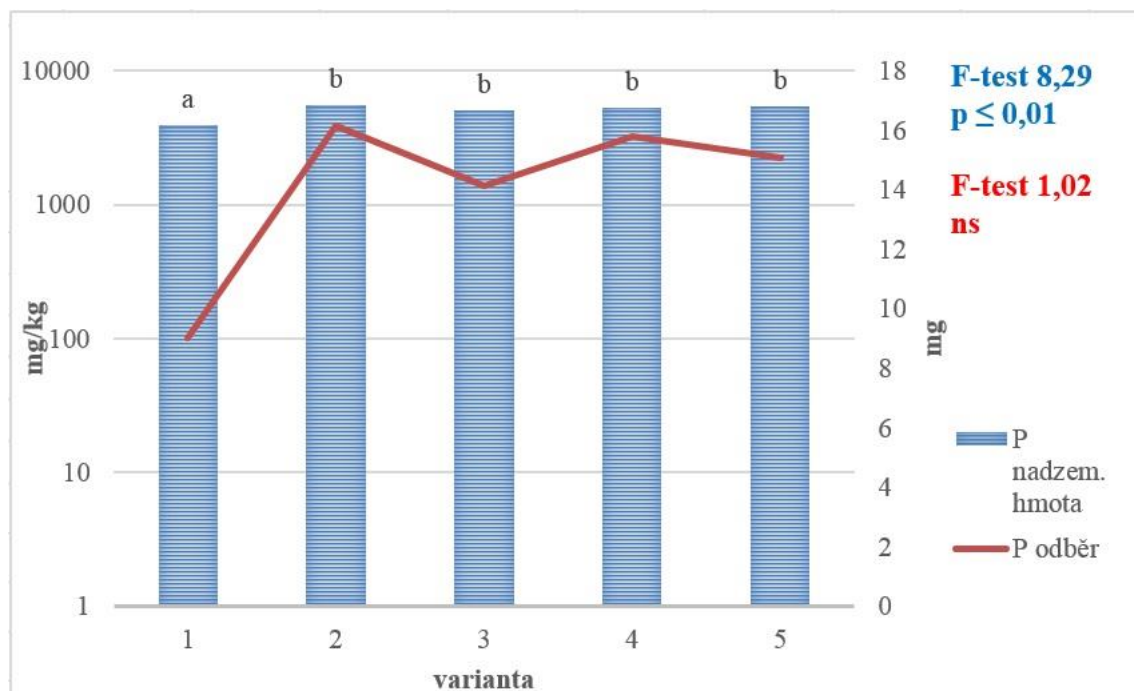
Tab č. 14: Charakteristika substrátů a nadzemní hmoty rostlin po sklizni v roce 2015

varianta	Substrát			Nadzem.hmota	
	pH H ₂ O	sušina (%)	P _{CAT} (mg/kg)	čerstvá hmotn. (g)	sušina (%)
Kontrola	6,27 ^a	42,6	116 ^a	11,2	20,2 ^a
Rašelina + 5 % n.d. + 10 g/l v.d.	5,87 ^b	43	63,3 ^b	18,5	15,4 ^b
Rašelina + 5 % n.d. + 15 g/l v.d.	6,19 ^a	42,6	73,9 ^b	15,4	17,7 ^{ab}
Rašelina + 10 % n.d.+ 10 g/l v.d.	5,81 ^b	36	136 ^a	17,6	17 ^{ab}
Rašelina + 10 % n.d. + 15 g/l v.d.	5,9 ^b	34,4	201 ^c	19,5	14,6 ^b
F test	78,4	0,99	31,7	1,27	6,29
Hladina významnosti	0,01	ns	0,01	ns	0,01

Z grafu č. 10 je patrné, že rozdíly v odběru fosforu rostlinami byly mezi jednotlivými variantami statisticky neprůkazné.

Měření fosforu v nadzemní hmotě rostlin ukázalo statisticky průkazné rozdíly mezi substráty. Průkazně nejnižší obsah P byl naměřen u kontrolní varianty. Hodnoty fosforu v testovaných variantách se naproti tomu pohybovaly ve velmi úzkém rozmezí. Nejvyšší obsah zde vykazovala varianta s 5 % digestátu a 10 g/l dolomitického vápence.

Graf č. 10: Porovnání odběru fosforu s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin 2015



Celkové zhodnocení

V této kapitole je uvedeno celkové hodnocení pokusů s mátou peprnou probíhajících v letech 2012, 2013 a 2015.

- Ve vstupních substrátech lze vysledovat klesající tendenci podílu sušiny se stoupajícím obsahem digestátu. Po sklizni byly rozdíly v obsahu sušiny v letech 2013 a 2015 neprůkazné.
- Hodnoty pH ve vstupních substrátech vykazovaly vyšší hodnoty po přidání neseparovaného digestátu. Obdobná tendence byla pozorována po přidavku dolomitu. Vyšší hodnoty pH oproti samotné rašelině vykazovaly také hodnoty měření po sklizni. Ve všech třech letech jsou odlišnosti variant v hodnotách pH statisticky průkazně rozdílné. S vyšším přidavkem dolomitu se hodnoty pH v substrátech po sklizni rovněž zvyšovaly.
- Před založením pokusu byly stanoveny zvyšující se obsahy P v substrátech s přidavkem digestátu. Toto se potvrdilo i ve stanoveních po sklizni, nejvyšší hodnoty vykazovaly i zde substráty s vyšším přidavkem digestátu.
- Nejvyšší výnosy nadzemní hmoty byly stanoveny shodně ve všech letech u substrátů s nejvyšším podílem neseparovaného digestátu. Procentuální hodnoty sušiny vykazovaly, s výjimkou roku 2015, klesající tendenci. Nejvyšší podíl sušiny byl ve všech letech naměřen u kontrolních substrátů.
- Z podílu přidavku digestátu na obsahu fosforu v nadzemní hmotě nelze vyvodit jednoznačné závěry. Odběr fosforu rostlinou vykazoval kromě roku 2015 nejvyšší hodnoty v substrátech s nejvyšším podílem digestátu.

7. Diskuze

Smyslem pokusu probíhajícího v letech 2011 až 2015 u třech různých rostlin (máta, bazalka, gazánie) bylo prokázat teorii, že přidavek neseparovaného digestátu k rašelině pozitivně zapůsobí na její vlastnosti. Práce byla zaměřena převážně na sledování hodnoty pH, obsah přístupného P v substrátech, celkový obsah fosforu v nadzemí hmotě rostlin a jeho odběr.

Nejčastějšími vstupními substráty, ze kterých vzniká digestát jsou odpady z potravinářského průmyslu, komunální odpady, energetické plodiny nebo hnůj ze stájí. V našem případě byly vstupními substráty kejda skotu, kukuřičná siláž a travní senáž. Od toho se také odvíjely veškeré vlastnosti digestátu.

Vaněk et al. (2012) uvádí, že hodnota pH je důležitým faktorem. Je pravidlem, že extrémně zásadité nebo kyselé prostředí není pro rostliny vhodné, kvůli zvyšování příjmu rizikových prvků nebo klesající rozpustnosti prvků potřebných.

Möller a Müller (2012) ve své studii uvádí vysoké hodnoty pH neseparovaného digestátu, a to mezi 7,3 až 9. Ve vzorku digestátu z našeho pokusu bylo naměřeno 8,7, respektive 9,1. Jednou z vlastností, kterou by tedy měl pozitivně ovlivnit přidavek digestátu do rašeliny bylo právě její pH. Samostatná rašelina vykazovala nízkou hodnotu 3,8. V průběhu jednotlivých let je jednoznačně znatelný stoupající vývoj hodnot pH spolu se stoupajícím procentem digestátu přidávaným k rašelině. Pro delší stabilizaci hodnot byl ve vybraných letech přidáván také mletý vápenec. Nejvyšších hodnot pH při vstupních rozborech dosáhla varianta s příměsí 25 % digestátu. V hodnotách po sklizni dosahovaly nejvyšších hodnot kontrolní substráty (6,3).

Dále také Vaněk et al. (2012) uvádí jako optimální hodnotu pH_{KCl} pro příjem živin u materiálu s vyšším obsahem organických látek a rašelinu hodnotu 5,8. Ze vstupních hodnocení tomuto odpovídá substrát s 20 i 25 % digestátu z roku 2012. Po sklizni těchto hodnot dosáhly v průběhu našeho pokusu varianty s 5 a 10 % digestátu (máta, 2015, přidavek dolomitu 10 a 15 g/l).

Dalším posuzovaným faktorem je procento sušiny. Studie autorů Albuquerque et al. (2012) uvádí jako hlavní znak digestátu nízké zastoupení sušiny a jejich klasifikaci jako tekutých produktů. Procento sušiny je dle autorů pod 15 %. Vstupní procenta sušiny u samotné rašeliny byla v rozmezí 39 – 50 %, čistý neseparovaný digestát dosáhl nejvýše 6,3 %, což odpovídá výše uvedené studii. Při kombinaci rašeliny s digestátem bylo dosaženo

nejvyššího výsledku (47,1 %) při 5 % digestátu v roce 2014. Kontrolní substráty obsahovaly sušinu v rozmezí 42 až 48 %. Se stoupajícím podílem digestátu do rašeliny se výsledné procento sušiny zpravidla snižovalo. Lze tedy pozorovat srovnatelné výsledky studie s našim pokusem.

Výsledky po sklizni ve většině případů vykazovaly neprůkazné rozdíly mezi variantami, avšak nejvyšší procento sušiny vykazoval kontrolní Pěstební substrát B (47,5 %) použitý v roce 2011 pro pěstování bazalek. Ze substrátů s příměsí digestátu dosahovaly nejčastěji nejvyšších hodnot varianty s vysokým procentem digestátu (10, 15, 25 %) v závislosti na tom, v kterém roce byly použity. Pouze ve dvou případech (r. 2013 – bazalky, r. 2015 – máta) vykazovaly nejvyšší procento varianty s 5 % digestátu.

Studie Tambone et al. (2010) uvádí obsah fosforu v odlišných typech neseparovaného digestátu v rozmezí 0,08 – 0,26 %. Naopak Rigby a Smith (2011) ve své práci uvádějí výslednou hodnotu celkového obsahu fosforu v digestátu s kejdou stájového dobytka 0,9 %. To se částečně shoduje s výsledky pokusu uváděného v této práci. Samostatný neseparovaný digestát v našich pokusech obsahoval 3500 – 3800 mg/kg fosforu (stanovení CAT), tj. 0,35 – 0,38 % přístupného fosforu. Vzhledem k tomu, že přístupný podíl fosforu tvoří pouze malou část celkového, lze se v našem případě více přiklánět ke studii Rigby a Smith (2011). Dále také Tambone et al. (2010) zmiňují zvýšení obsahu fosforu v substrátu s digestátem. To se potvrdilo i v naší práci. Vstupní hodnocení rašeliny vykazovalo hodnoty fosforu v řádech desítek mg/kg. Po smíchání rašeliny s digestátem konečný substrát vykazoval obsah fosforu od nejnižších 246 mg/kg (varianta s 5 % digestátu) až po nejvyšších 1420 mg/kg (varianta s 25 %). Z těchto výsledků je zřejmé zvyšování obsahu fosforu spolu s vyšším procentem digestátu. Stanovení fosforu v substrátech po sklizni shodně vykazovala nejvyšší obsah fosforu u variant s vyšším procentem digestátu. Výsledky substrátů s digestátem vykazovaly vyšší hodnoty než kontrolní substráty ve všech případech (stanovení CAT). Nejvyšší hodnota (201 mg/kg) byla naměřena u 10 % digestátu, ve směsi z roku 2015, v substrátu pro pěstování máty.

V pokusu Albuquerque et al. (2011) byly účinky digestátu porovnávány s tradičním hnojením statkovými hnojivy a konvenčními minerálními hnojivy. Pěstované rostliny byly květák a vodní meloun. Pokus probíhal ve dvou vegetačních obdobích, přičemž v prvním roce byl pěstován vodní meloun, a ve druhém květák. Vstupní hodnoty fosforu samotného substrátu s digestátem byly 36,7 mg/kg. Po sklizni melounu, a před pěstováním kvěťáku, se zvýšila hodnota fosforu na 48 mg/kg. Přídavek digestátu měl rovněž pozitivní vliv na obsah

ostatních živin a také na půdní vlastnosti, jako např. činnost mikroorganismů. Aplikace digestátu vykazovala srovnatelné výnosy melounu jako u minerálního hnojení.

Nárůstem nadzemní hmoty rostlin po aplikaci digestátu se zabýval i Babička (2010), jež uvádí její zvýšení až o 100 %. Zmiňuje také velmi dobré hnojivé účinky digestátu při použití kejdy jako vstupního substrátu a uvádí zlepšení všech půdních charakteristik.

Další studií zabývající se digestátem bylo dílo Abubaker et al. (2012), jež hodnotili čtyři odlišné typy digestátu jako hnojivo. Pro srovnání bylo použito hnojení NPK a kejda prasat. Nejvyšší výnosy byly zaznamenány u variant s kejdou, avšak hnojení NPK a digestátem bylo srovnatelné. V námi provedeném pokusu dosáhl nejvyšších hodnot ze všech sledovaných substrátů kontrolní substrát Gramoflor v roce 2012 u rostlin gazáníí (70,6 g). Ze substrátů s přídavkem digestátu dosáhla nejvyšších hodnot varianta s 10 % digestátu (61,5 g) také u gazáníí, ale použita v roce 2011. Při zkoumání jednotlivých rostlin lze pozorovat u máty rostoucí tendenci sušiny u substrátů s digestátem. Nejvyšších hodnot u máty dosáhla varianta z roku 2012 s 15 % digestátu (55,9 g). U bazalek nebylo možné určit jednoznačné tendence. Ve třech letech ze čtyř (2012-2014) zde dosahovaly nejvyšších hodnot kontrolní substráty. U gazáníí taktéž převažovaly vyšší hodnoty u kontrolních substrátů.

Fosfor řadíme mezi makrobiogenní prvky, které se vyskytují v sušině v množství větším než 1000 mg/kg. Výsledky po sklizni našeho pokusu vykazují nejvyšší hodnotu fosforu v nadzemní hmotě (11 642 mg/kg) u varianty s 15 % digestátu. Shodně ve všech letech s výjimkou jednoho roku – 2014: bazalky – vykazovaly nejvyšší obsah fosforu varianty s vyššími přídavky digestátu.

Zkoumáním různých typů bazalky se zabýval ve své studii autor Dzida (2010), který pěstoval rostliny na klasických pěstebních substrátech s přídavkem CaCO_3 . Jím naměřené hodnoty fosforu v rostlině byly ve výši 1 %. Okolo této hodnoty se pohybují i výsledky našeho pokusu s bazalkami.

Jiným pokusem se ve své práci zabývali Bustamante et al. (2012). Zkoumali možnost kompostování digestátu a využití jeho složek v zemědělství. V pokusu byly používány směsi vyrobené z pevné frakce digestátu (z fermentace kejdy skotu) ve variantách s nebo bez příměsí révy. V průběhu kompostování byla sledována teplota a fyzikálně-chemické parametry a mikrobiologické hodnoty. Celkově byly postaveny tři zakládky s třemi typy kompostů obsahujících digestát. První zakládka obsahovala 100 % digestátu, druhá byla složena v poměru 90 % digestátu a 10 % révy, poslední typ obsahoval 80 % digestátu a 20 % révy. Bylo zde naměřeno 8250 (kompost 1), 6950 (kompost 2), 6100 mg/kg (kompost 3) celkového fosforu. Námi stanovený přijatelný fosfor metodou CAT vykazoval řádově nižší

hodnoty oproti studii, avšak ve všech letech (s výjimkou roku 2012, máta) vykazoval vyšší hodnoty fosforu než kontrolní varianty. Nejvyšších hodnot dosáhla varianta z roku 2015 (máta) ve výši 201 mg/kg.

V dnešní době existuje mnoho studií, jež se zabývají zhodnocením a využitím digestátu a jeho pozitivních vlastností. Nými využitými substráty byly zkoumány z hlediska fosforu, pH a sušiny. Také byla hodnocena nadzemní hmota, a to s ohledem na výnos, procento sušiny, obsah i odběr P. Jednoznačně pozitivně digestát zapůsobil při zvýšení hodnot pH a také zvýšil obsah fosforu. Použití digestátu jako hnojiva je ještě poměrně novým tématem a je nutné jeho delší zkoumání pro zjištění optimálních kombinací za účelem vytěžení maximálních zisků. Je nutné podotknout, že v některých variantách bylo vysoké procento digestátu již toxické, vzhledem ke klesající tendenci procenta sušiny v rostlině.

Je nutné vzít v úvahu rizikové faktory, jakými může být zasolenost, fytotoxicita a horší biodegradabilita některých digestátů. Do následujících studií je také nezbytné zahrnout ekonomické faktory a jejich zhodnocení. Pokud chceme, aby se začal digestát využívat jako hnojivo či přídatek do substrátů, je nutná ekonomická výhodnost.

8. Závěr

Jak již bylo naznačeno v průběhu celé této práce, alternativní zdroje energie jsou novým trendem společnosti. V posledních letech se mnoho jednotlivců i společností zabývá svou ekologickou stopou apod. Spolu s tímto trendem přišel i nástup bioplynových stanic. Zpočátku byly využívány pouze za účelem získání bioplynu pro tvorbu energie a tepla. S větším rozmachem však přichází více stanic, bioplynu ale i digestátu. Fermentační zbytek, neboli digestát je značně stabilizovaným odpadem z bioplynových stanic, který obsahuje mnoho využitelných živin vhodných pro pěstování rostlin a je typický vysokou hodnotou pH. Naopak rašelina jako pěstební substrát je chudá na živiny a má nízké pH.

Tato práce měla za cíl prozkoumat možnosti směsi neseparovaného digestátu s rašelinou za účelem zlepšení jejích vlastností z hlediska hodnoty pH a obsahu přístupného fosforu.

Jako plodiny pro testování byly zvoleny běžně pěstované zahradní rostliny: Gazanie zářivá (*Gazania rigens*), Bazalka pravá (*Ocimum basilicum*) a Máta peprná (*Mentha piperita*). Digestát byl k rašelině přimícháván v různých kombinacích (5, 10, 15, 20, 25 % objemových). Pro stabilizaci pH byl v určitých letech také přidáván dolomit v dávkách 3, 6, 10, 15 g/l. Pro srovnání byly jako běžné pěstební substráty použity následující: Gramoflor, Pěstební substrát B, Zahradnický substrát Primaflora, Kontrolní substrát.

Z výsledků je možno vyvodit následující:

- Přídavek digestátu vedl zpravidla ke zvýšení výsledné objemové hmotnosti substrátů před založením pokusu. Po sklizni pokusu byly rozdíly mezi testovanými a kontrolními substráty většinou neprůkazné.
- Přidání digestátu vedlo ke zvýšení hodnoty pH ve vstupních substrátech. Po sklizni však následoval výrazný pokles pH ve srovnání s kontrolními variantami. Přidání vyšších dávek vápenitého dolomitu vedl ke stabilizaci hodnoty pH v průběhu pokusu.
- Se zvyšujícím se podílem digestátu se zvyšoval i obsah fosforu v testovaných substrátech. Tato tendence se potvrdila při založení i po sklizni pokusu. I při nižších dávkách digestátu byl obsah P v substrátech zpravidla vyšší než u kontrol.
- Digestát v substrátech měl zpravidla pozitivní vliv na výnos čerstvé nadzemní hmoty rostlin. Opačný trend byl však pozorován u podílu sušiny, který s vyšší dávkou digestátu většinou klesal.

- V nadzemní hmotě rostlin byly, se stoupajícím podílem digestátu, zpravidla zaznamenány i stoupající obsahy fosforu. Totéž platilo i pro odběry P nadzemní hmotou rostlin.

Závěrem tedy z výsledků práce vyplývá, že přídavek digestátu do směsi s rašelinou má pozitivní vliv na její vlastnosti (pH) a obsah fosforu v substrátu a taktéž v nadzemní hmotě rostlin. Kde se naopak prokázalo vysoké procento digestátu již negativním, bylo měření sušiny v rostlině, které vykazovalo klesající tendenci.

Neseparovaný digestát je tedy vhodným přídavkem do substrátu jako zdroj fosforu pro rostliny, avšak je nutné brát ohled na procento digestátu ve směsi, a také provést stabilizaci pH substrátu vápněním.

9. Seznam literatury

Abubaker, J., Risberg, K. a Pell, M. 2012. Biogas residues as fertilisers – Effects on wheat growth and soil microbial activities. *Applied Energy*. 99. 126–134.

ADBA. Digestate: The Practical Guide to AD [online]. ADBA.cz. 2013 [cit. 22.2.2016]. Dostupné z <http://adbioresources.org/wp-content/uploads/2013/06/81-92_chapter6_v3.pdf>.

Albuquerque, J. A., de la Fuentea, C., Campoya, M., Carrasco, L., Nájerab, I., Baixelib, C., Caravaca, F., Roldána, A., Cegarra, J., Bernal, M. P. Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. [online]. 2011 [cit. 2016-02-05]. Dostupné z <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S116103011200083>>.

Albuquerque, J.A., CARRASCO, L., CEGARRA, J., BERNAL, M.P., ABAD, M. et al. 2012. Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agroindustrial residues. *Biomass and Bioenergy*. Spain. 40. 181 - 189.

Auterská, P. Problematika zápachu na bioplynových stanicích [online]. *Biom.cz*. 2010 [cit. 2016-02-03]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/problematika-zapachu-na-bioplynovych-stanicich>>. ISSN: 1801-2655.

Babička, .L. Významný přínos výroby bioplynu. *Listy cukrovarnické a řepařské*, www.cukr-listy.cz [online]. 2010 [cit. 2016-02-05]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborneclanky/vyznamny-prinos-vyroby-bioplynu>>. ISSN: 1210-3306.

Biom. Nakládání s digestátem, možnost využití jako kvalitní hnojivo [online]. *Biom.cz*. 2014 [cit. 2016-02-05]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nakladani-s-digestatem-moznost-vyuziti-jako-kvalitni-hnojivo>>.

Börjesson, P., Berglund, M. 2007. Environmental systems analysis of biogas systems—Part II: The environmental impact of replacing various reference systems. *Biomass and Bioenergy*. 31 (5). 326-344. ISSN 0961-9534.

Bustamante, M. A., Alburquerque, J. A., Restrepo, A. P., de la Fuente, C., Paredes, C., Moral, R., Bernal, M. P. 2012, Co-composting of the solid fraction of anaerobic digestates to obtain added-value materials for use in agriculture. *Biomass and Bioenergy*. 43. 26 – 35.

Carlile, W.R. 2008. The use of composted materials in growing media. *Acta Horticulturae*. 321-327.

Dohányos, M. Anaerobní reaktor není černou skříňkou – teoretické základy anaerobní fermentace [online]. *Biom.cz*. 2008 [cit. 2016-02-27]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-reaktor-neni-cernou-skrinkou-teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>>.

Dostál, J., Lošák, T., Javor, T., Hajzlerová, L., Hlušek, J., Linhart, M. 2014. Dosavadní zkušenosti s aplikací digestátu z bioplynových stanic na zemědělskou půdu. Sborník z 20. Mezinárodní konference Racionální použití hnojiv. Česká zemědělská univerzita. Praha. 36 – 42. ISBN: 978-80-213-2511-1.

Došek, M., Holba, M., Černý, M. Technologie vs. Fermentační zbytek [online]. *Odpadoveforum.cz*. 2015 [cit. 2016-02-27]. Dostupné z: <http://www.odpadoveforum.cz/TVIP2015/prispevky/033.pdf>.

Dubský M., Šrámek F.. 2008. Požadavky na pěstební substráty, systémy hnojení. Školkařská produkce I, sborník přednášek. MZLU v Brně. Brno. 38-62. ISBN: 978-80-7375-138-8.

Dzida, K. 2010. Nutrients contents in sweet basil (*Ocimum basilicum L.*) herb depending on calcium carbonate dose and kultivar. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*. 9(4): 143-151. ISSN 1644-0692.

EN 12 580. 1999. Soils improvers and growing media – Determination of quantity; CEN Brussels

EN 13 039. 1999. Soil improvers and growing media – Determination of organic matter content and ash, CEN Brussels

EN 13 040. 1999. Soils improvers and growing media – Sample preparation for chemical and physical tests, determination of dry matter content, moisture content and laboratory compacted bulk density; CEN Brussels

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

Fonteno, W.C. 1996. Growing media: Types and physical/chemical properties. Water, media, and nutrition for greenhouse crops. Ball Publishing. Batavia, Illinois.

Handreck, K, Black, N. 2005. Growing media for ornamental plants and turf. University of New South Wales Press. Sydney. 517 s. ISBN: 0-86840-796-8.

Holečková, Z., Kulháněk, M., Černý, J., Kaplan, L., Balík, J. 2013. Využití neseparovaného digestátu jako zdroje živin pro pěstování gazánie (*gazania rigens*). Sborník z 19. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv konané v Praze dne 28.11.2013. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 89-92. ISBN: 978-80-213-2416-9.

Jelínek, A., Altman, V., Andrt, M., Černík, B., Plíva P., Jakešová, H. 2001. Hospodaření a manipulace s odpady ze zemědělství a venkovských sídel. Agrospoj. Praha. 236 s.

Kára, J., Koutný, R. Využití fermentačních zbytků anaerobní digesce jako paliva [online]. Biom.cz. 2009 [cit. 2016-02-09]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-fermentacnich-zbytku-anaerobni-digesce-jako-paliva>>. ISSN: 1801-2655.

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

Kolář, L., Kužel, S., Peterka, J., Borová, Batt, J. 2010. Agrochemical value of the liquid phase of wastes from fermentem during biogas production. *Plant, Soil and Environment*. 56 (1). 23-27.

Koubová, D. 2012. Digestát jako zdroj fosforu. *Top Agrar. Energie Magazín*. 4. s.52.

Kratochvílová, Z., Habart, J., Sladký, V., Jelínek, F., Rosenberg, T. et al. 2009. Průvodce výrobou a využitím bioplynu. *Biom.cz*. Praha. 157 s. ISBN: 978-80-903777-5-2.

Kučera, L., Bednář, P. 2014. Biogas system and possibilities of control and use of digestate in Czech Republic: A Review. *Waste fórum*. 3. 123 – 135.

Litmanen, S., Kirchmeyr, F. The Use of Digestate as an Organic Fertiliser [online]. 2014 [cit. 2016-02-18] Dostupné z < [http://www.envirotech-online.com/articles/water-wastewater/17/susanna litmanen franz kirchmeyr/the use of digestate as an organic fertilizer/1593/>](http://www.envirotech-online.com/articles/water-wastewater/17/susanna%20litmanen%20franz%20kirchmeyr/the%20use%20of%20digestate%20as%20an%20organic%20fertiliser/1593/>);

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.

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. Brno. 30 s.

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.: 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. 728 – 732.

Möller, K., Müller, T. 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. Universität Hohenheim. Germany. Engineering in Life Sciences. 12 (3). 242 - 257.

Mužík, O., Slejška, A. Možnosti využití anaerobní fermentace pro zpracování zbytkové biomasy [online]. 2003 [cit. 2016-02-05] Dostupné z < <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-anaerobni-fermentace-pro-zpracovani-zbytkove-biomasy> >.

Mužík, O., Kára, J. 2008. Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. Energie 21. 1. 22 – 25.

Naik, N., Tkachenko, E., Wung, R. The Anaerobic Digestion of Organic Municipal Solid Waste in California [online]. 2013 [cit. 2016-02-19] University of California. Dostupné z <https://bcgc.berkeley.edu/sites/default/files/Anaerobic-Digestion-report.pdf>.

Nářízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu. 2012. MZe.

Nářízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002 ze dne 3. října 2002 o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu, které nejsou určeny pro lidskou spotřebu. 2002. ES/EU.

Rapport, J., Zhang, R., Jenkins, B., M., Williams, R., B. Current Anaerobic Digestion Technologies Used for Treatment of Municipal Organic Solid Waste [online]. 2008 [cit. 2016-02-26]. Dostupné z: <http://www.calrecycle.ca.gov/publications/Documents/1275/2008011.pdf>.

Sharpley, A. N. 1995. Soil phosphorus dynamics: agronomic and environmental impacts. Ecological Engineering. 5. 261-279.

Schievano, A., Adani, F., Tambone, F., D'Imporzano, G., Scaglia, B., Genevini, P.L. 2008. What is digestate; Anaerobic digestion: opportunities for agriculture and environment. Milano. 7–18.

StatSoft. 2015. Statistica. StatSoft Inc. 1984-2015 s.r.o. ver. 12. Praha. Česká republika.

Straka, F, Dohányos, M, Zábranská, J, Jeníček, P, Dědek J., et al. 2006. Bioplyn: příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů. GAS, s.r.o. Říčany. 517 s. IBSN 80-7328-029-9.

Straka, F., Kunčarová, M., Lacek, P. Optimalizace vsázek pro bioplynové stanice při použití biomasy, živočišných odpadů nebo dalších možných vedlejších živočišných produktů [online]. 2007 [cit. 2016-02-27]. Dostupné z <agri.cz/public/web/file/32354/Optimalizace_vsazek.doc>.

Tambone, F., Scaglia, B., D'Imporzano, G. Schievano, A., Orzi, V., Salati, S., Adani, F. 2010. Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost. Chemosphere. 81 (5). 577-583. ISSN 0045-6535.

Tlustoš, P., Kaplan, L., Dubský, M. 2014. Možnosti uplatnění upravených složek digestátu. Sborník z 20. Mezinárodní konference Racionální použití hnojiv. Česká zemědělská univerzita. Praha. 36 – 42. ISBN: 978-80-213-2511-1.

Tlustoš, P., Kaplan, L., Száková, J., Dubský, M., Roubíková, I., Šrámek, F. 2013. Využití pevné složky digestátu pro přípravu pěstebních substrátů – certifikovaná metodika. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 20s.

Váňa, J. Využití digestátu jako organického hnojiva [online]. Biom.cz. 2007 [cit. 2016-02-06]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-digestatu-jako-organickeho-hnojiva>>. ISSN: 1801-2655.

Váňa, J., Slejška, A. 1998. Bioplyn z rostlinné biomasy. Studijní zpráva. Ústav zemědělských informací. Praha. 40 s.

Vaněk, V., Balík, J., Němeček, R., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 1998. Výživa a hnojení polních plodin, ovoce a zeleniny. Farmář – Zemědělské listy. ISBN: 80-902413-1-X.

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

Večeřová, V. Zásady a pravidla registrace hnojiv podle Zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, ve znění pozdějších předpisů (novela č. 9/2009 Sb.) – zaměřeno na digestát [online]. Biom.cz. 2009 [cit. 2016-02-18]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zasady-a-pravidla-registrace-hnojiv-podle-zakona-c-156-1998-sb-o-hnojivech-ve-zneni-pozdejsich-predpisu-novela-c-9-2009-sb-zamereno-digestat>>. ISSN: 1801-2655.

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva. 2000. MZe.

Zafar. S. Resource Base for Biogas Plants [online].Bioenergyconsult.com. 2015 [cit. 2016-02-18]. Dostupné z <http://www.bioenergyconsult.com/tag/raw-material-for-biogas-plants/>>.

Zákon 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezení znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně zákonů (zákon o integrované prevenci). 2002. MZe.

Zákon 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech). 1998. MZe.

Zákon 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů. 2001. MZe.

Zákon 314/2006 Sb., kterým se mění zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a zákon č. 140/1961 Sb., trestní zákon, ve znění pozdějších předpisů. 2006. MZe.

Zákon 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). 2001.
MZe.

10. Seznam obrázků

Obr. č. 1: Mapa bioplynových stanic v ČR (Kučera a Bednář, 2014).	12
Obr. č. 2: Čtyřfázový model anaerobního vyhnívání (Jelínek et al., 2001).	16
Obr. č. 3: Půdní cyklus P rozdělený podle rychlosti jednotlivých přeměn (Sharpley, 1995). ..	26

11. Seznam tabulek

Rešerše

Tab č. 1: Limitní hodnoty rizikových prvků v organických hnojivech (Marada et al., 2008)..	20
--	----

Metodika

Tab č. 2: Varianty pokusu s neseparovaným digestátem a dolomitickým vápencem	30
Tab č. 3: Varianty pokusu s neseparovaným digestátem a dolomitickým vápencem	32

Výsledky

Tab č. 4: Vstupní charakteristiky substrátů používaných v pokusech	36
--	----

Bazalka pravá (*Ocimum basilicum*, L.)

Tab č. 5: Charakteristika substrátů a nadzemní hmoty rostlin po sklizni v roce 2011	38
Tab č. 6: Charakteristika substrátů a nadzemní hmoty rostlin po sklizni v roce 2012	40
Tab č. 7: Charakteristika substrátů a nadzemní hmoty rostlin po sklizni v roce 2013	41
Tab č. 8: Charakteristika substrátů a nadzemní hmoty rostlin po sklizni v roce 2014	43

Gazanie zářivá (*Gazania rigens*, L.)

Tab č. 9: Charakteristika substrátů a nadzemní hmoty rostlin po sklizni v roce 2011	45
Tab č. 10: Charakteristika substrátů a nadzemní hmoty rostlin po sklizni v roce 2012	47
Tab č. 11: Charakteristika substrátů a nadzemní hmoty rostlin po sklizni v roce 2013	48

Máta peprná (*Mentha piperita*, L.)

Tab č. 12: Charakteristika substrátů a nadzemní hmoty rostlin po sklizni v roce 2012	51
Tab č. 13: Charakteristika substrátů a nadzemní hmoty rostlin po sklizni v roce 2013	52
Tab č. 14: Charakteristika substrátů a nadzemní hmoty rostlin po sklizni v roce 2015	54

12. Seznam grafů

Bazalka pravá (*Ocimum basilicum*, L.)

Graf č. 1: Porovnání odběru fosforu s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin 2011	39
Graf č. 2: Porovnání odběru fosforu s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin 2012	40
Graf č. 3: Porovnání odběru fosforu s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin 2013	42
Graf č. 4: Porovnání odběru fosforu s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin 2014	43

Gazanie zářivá (*Gazania rigens*, L.)

Graf č. 5: Porovnání odběru fosforu s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin 2011	46
Graf č. 6: Porovnání odběru fosforu s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin 2012	47
Graf č. 7: Porovnání odběru fosforu s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin 2013	49

Máta peprná (*Mentha piperita*, L.)

Graf č. 8: Porovnání odběru fosforu s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin 2012	51
Graf č. 9: Porovnání odběru fosforu s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin 2013	53
Graf č. 10: Porovnání odběru fosforu s obsahem P v nadzemní hmotě rostlin 2015	54