

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ**

Fakulta regionálního rozvoje a mezinárodních studií



## **Bioplynové stanice v České republice**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:  
prof. Ing. Tomáš Lošák, Ph.D.

Vypracoval:  
Bc. Tomáš Válka

Brno 2016

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci:

vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne

.....

Podpis

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Tomáši Lošákovi, Ph.D. za jeho vždy vstřícný přístup, praktické rady a cenné připomínky. Také bych rád poděkoval svým blízkým, kteří mne po celou dobu studia plně podporovali a motivovali.

Praktické výsledky experimentu byly součástí řešeného projektu IGA FRRMS s názvem „Využití digestátů z bioplynových stanic pro rozvoj venkova” a označením 10/2015.

## **Abstrakt**

VÁLKA, T. *Bioplynové stanice v České republice*. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Fakulta regionálního rozvoje a mezinárodních studií, 2016.

Diplomová práce je zaměřena na problematiku obnovitelných zdrojů, respektive bioplynových stanic. V literární rešerši této práce jsou popsány nejprve obnovitelné zdroje využívané na území České republiky. Dále je podrobně popsána problematika bioplynových stanic včetně jejich přínosů pro region. Praktická část navazuje na jeden z produktů bioplynových stanic a to na fermentační zbytek - digestát. V této části jsou prezentovány výsledky jednoletého nádobového pokusu, u kterého byly pozorovány pozitivní účinky hnojení digestátem na výnosové a kvalitativní parametry vybraného druhu zeleniny - kedluben.

**Klíčová slova:** bioplynové stanice, obnovitelné zdroje energie, digestát

## **Abstract**

VÁLKA, T. *Biogas plants in Czech republic*. Diploma thesis. Mendel University in Brno. Faculty of Regional Development and International Studies, 2016.

The thesis is focused on renewable energy, respectively biogas plants. In a literature part of this work there are described renewable resources used in the Czech Republic. There is also described the issue of biogas plants including their benefits for the region. The practical part is focused on one of the products of biogas plants, that is fermentation residue - digestate. In this part are presented the results of one year pot trial in which were observed the positive effects of digestate fertilizer on yield and quality parameters of selected species of vegetables - kohlrabi.

**Key words:** biogas plants, renewable energy, digestate

# Obsah

1	Úvod.....	6
2	Cíl práce.....	8
3	Literární přehled .....	9
3.1	Obnovitelné zdroje .....	9
3.1.1	Obnovitelné zdroje v ČR .....	10
3.1.2	Charakteristika jednotlivých obnovitelných zdrojů.....	12
3.2	Anaerobní fermentace .....	19
3.2.1	Fáze procesu anaerobní fermentace .....	20
3.2.2	Rozdělení anaerobní fermentace.....	21
3.3	Bioplyn.....	23
3.3.1	Složení a kvalita bioplynu.....	24
3.3.2	Možnosti využití bioplynu .....	25
3.4	Využití fermentačního zbytku (digestátu) z bioplynových stanic.....	26
3.4.1	Digestát jako hnojivo .....	28
3.5	Bioplynové stanice .....	30
3.5.1	Vývoj a současná situace bioplynových stanic v ČR .....	31
3.5.1	Aktuální podpora pro bioplynové stanice.....	32
3.5.2	Rozdělení bioplynových stanic .....	35
3.5.3	Části bioplynové stanice .....	36
3.5.4	Potenciální vlivy bioplynových stanic na region .....	40
4	Praktická část .....	43
4.1	Materiál a metody pokusu .....	43
4.2	Výsledky a diskuze .....	45
4.2.1	Výnosové výsledky pokusu .....	45
4.2.2	Kvalitativní výsledky pokusu .....	47
4.3	Shrnutí pokusu .....	48
5	Závěr .....	50
6	Literatura.....	52
7	Seznam tabulek, obrázků a grafů.....	60

# 1 Úvod

V dnešní době si jde jen těžko představit fungování světa bez elektrické energie. Získávání a následné využívání energie je dnes téměř nezbytné pro každodenní fungování a další rozvoj lidstva. Po mnoho let ji lidé získávají za pomoci jaderných či fosilních zdrojů, zejména ropy, uhlí a zemního plynu. Tato skutečnost však sebou přinesla, vedle rozvoje společnosti, také některé nepříjemnosti, které zanechaly na naší planetě nenávratné škody. I přes skutečnost, že většinu přísunu energie stále zabezpečují fosilní paliva či jaderné zásoby, můžeme využívání obnovitelných zdrojů považovat za trend současnosti. V podmínkách České republiky je energie získávána nejčastěji ze slunce, větru, vody a biomasy. Poslední zmíněná biomasa patří dle současných názorů k obnovitelným zdrojům s největším využitelným potenciálem.

Jednou z možností, jak získat energii z biomasy, je využití bioplynových stanic. Právě tyto zařízení zažily svůj rozmach po vstupu České republiky do EU, zejména díky investičním pobídkám a zvýhodněné výkupní ceně elektrické energie. Staly se tak pro řadu investorů lákavou možností, kde zhodnotit své peníze. Zejména zemědělské bioplynové bývají často vlastněny zemědělskými podnikateli, kterým jejich provoz diverzifikuje příjmy. Výsledným produktem procesu probíhajícího v bioplynových stanicích je bioplyn. Ten vzniká při procesu zvaném anaerobní fermentace. Nejčastěji je po vzniku odváděn do kogeneračních jednotek, kde se jeho spalováním získává elektrická energie a teplo. Vyprodukovaná elektrická energie slouží k samotnému provozu bioplynové stanice a také k prodeji do veřejné elektrické sítě. Získané teplo mělo ještě do nedávna své využití pouze při provozu bioplynové stanice. V současné době však provozovatelé bioplynových stanic hledají možnosti, jak jej co nejefektivněji využít.

Vedle bioplynu je produktem procesu anaerobní fermentace také odpadní zbytek, známý pod názvem digestát. Každý digestát je svým způsobem originální a neopakovatelný. Jeho složení a vlastnosti jsou ovlivněny především skladbou a množstvím surovin vstupujících do anaerobního procesu. U zemědělských bioplynových stanic jsou to nejčastěji kejda, hnůj, kukuřičná siláž apod. Ačkoliv není jeho ekonomický přínos tak velký jako v případě bioplynu, i u něj existuje způsob, jak

jej dále využívat. I když se názory na jeho použití liší, bývá zemědělci nejčastěji využíván ke hnojení pozemků jako alternativa k minerálním hnojivům. Odběr digestátu zemědělcem může být výhodný nejen pro něj, ale i pro bioplynovou stanici. Na straně zemědělce může vzniknout při používání digestátu finanční úspora za nákup minerálních hnojiv. Kritériem pro odběr digestátu je kromě ceny také dojezdová vzdálenost, v jaké se vyplatí digestát dovážet. Nezanedbatelný je také jeho environmentální efekt, jelikož je tento fermentační produkt definován dle zákona jako organické hnojivo.

## **2 Cíl práce**

Cílem této práce bylo vypracování literární rešerše zabývající se podrobně problematikou obnovitelných zdrojů energie s důrazem na rozvoj bioplynových stanic v České republice v posledních letech.

Kromě bioplynu bude pozornost věnována také fermentačnímu zbytku z bioplynových stanic (digestátu) a možnostem jeho využití.

Součástí tohoto spisu je rovněž prezentace vybraných výsledků řešeného projektu IGA FRRMS s názvem "Využití digestátů z bioplynových stanic pro rozvoj venkova" a označením 10/2015, na jehož řešení jsem se podílel.



## 3 Literární přehled

### 3.1 Obnovitelné zdroje

V současné době obývá naši planetu více než 7 miliard lidí, což je oproti minulému století 3,5krát více. A právě tento masivní nárůst populace zvýšil spotřebu energetických zdrojů. Aby bylo možné tuto spotřebu pokrýt i pro budoucí generace, je zapotřebí klást důraz především na využívání obnovitelných zdrojů energie (KONÍČEK, 2011).

Obnovitelné zdroje představují z dlouhodobého hlediska jedinou spolehlivou alternativu získávání energií s ohledem na životní prostředí (QUASCHNING, 2010). Činnost člověka tyto zdroje nevyčerpává. Obnovují se tak rychle, jak jsou spotřebovávány. Opakem obnovitelných zdrojů jsou zdroje neobnovitelné, které se rychleji spotřebovávají, než obnovují. Mezi ty patří zdroje fosilní, jako jsou uhlí, ropa, zemní plyn, rašelina a také zdroje jaderné.

Využívání obnovitelných zdrojů energie sahá do dávné historie, kdy lidé získávali teplo za pomoci spalování dřeva. Největší rozmach využívání obnovitelných zdrojů v moderních dějinách však nastal v 70. letech minulého století, jako reakce na ropnou krizi.

Důvodů pro podporu obnovitelných zdrojů je několik. Hlavním motivem pro využívání obnovitelných zdrojů je především omezenost doposud nejvyužívanějších energetických zdrojů. Jak uvádí QUASCHNING (2010), existují scénáře, podle kterých ložiska fosilních paliv vydrží pouze v řádu desítek let. Při současné výši spotřeby energie vydrží ložiska uranu 42 let, ropy 43 let, zemního plynu 64 let, hnědého uhlí 197 let a černého uhlí 208 let. Vzhledem k trendu zvyšování spotřeby energie se může jednat ještě o dobu kratší (MUSIL, 2009).

Nutnost hledat alternativu k fosilním zdrojům energie umocňuje také současný problém geografické nevyváženosti mezi spotřebiteli energie a lokace ložisek těchto zdrojů. Průmyslově vyspělé země mají nejvyšší spotřebu energie, i když ložiska, která na svém území mají, jsou již vyčerpána. Jsou tak závislé na dodávkách z ostatních států. MUSIL (2009) uvádí, že více než 60 % zásob ropy se nachází v oblastech Blízkého

a Středního východu. Tato skutečnost s sebou nese riziko regionálních energetických krizí, které mohou vést až ke krizím globálním.

Využívání obnovitelných zdrojů na úkor fosilních paliv má pozitivní vliv na životní prostředí (VAISHAR, ŠŤASTNÁ, 2014). Fosilní zdroje energie zvyšují koncentraci skleníkových plynů v atmosféře, díky čemuž dochází k zesilování skleníkového efektu a zvyšování průměrné teploty atmosféry. Naopak většina obnovitelných zdrojů při svém využívání žádné škodliviny neprodukuje (KLOZ, 2007).

Získávání energie z obnovitelných zdrojů je podporováno celou řadou nadnárodních institucí. Jednou z nich je Evropská Unie, která přijala cíl zvýšit do roku 2020 podíl obnovitelných zdrojů na spotřebě energie na 20% (BOSCH a kol., 2009).

### **3.1.1 Obnovitelné zdroje v ČR**

Česká republika patří mezi většinu států, kde jsou stále nejrozšířenějšími zdroji energie fosilní paliva, a to zejména uhlí a zemní plyn. I přes tuto skutečnost český zákon neopomíjí zdroje obnovitelné.

Definice pojmu obnovitelných zdrojů se nachází v zákoně č. 17/1992 Sb. o životním prostředí a zní následovně: „Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka.“

Další definice je součástí zákona č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů). Podle tohoto zákona se obnovitelnými zdroji rozumí „obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu a energie bioplynu.“

Po vstupu do Evropské Unie byl České republice uložen indikativní<sup>1</sup> cíl zvýšit podíl výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě

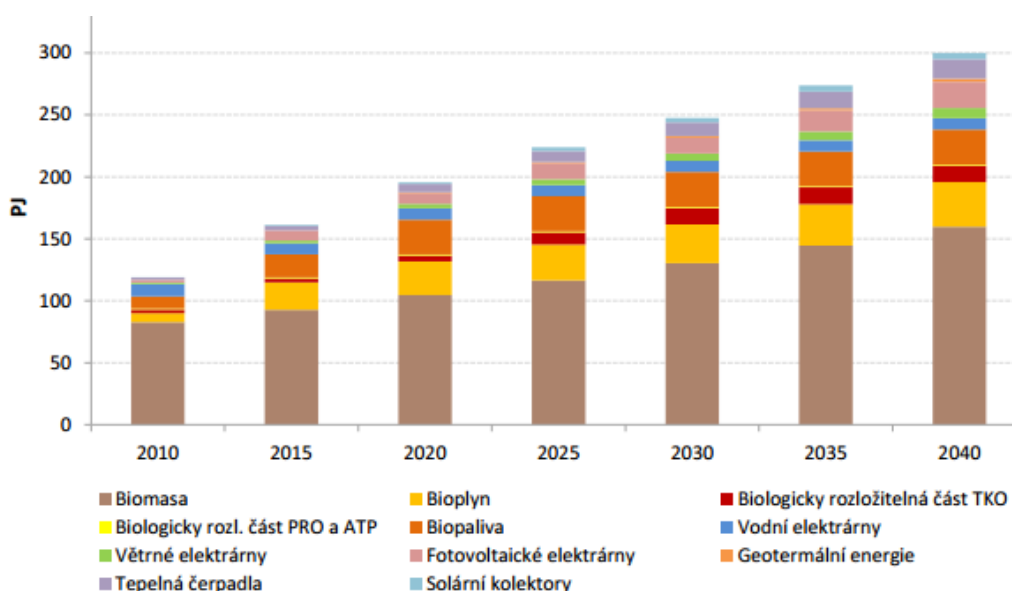
---

<sup>1</sup> Závazek státu v politických věcech, jehož nesplnění nelze vymáhat

energie do roku 2010 na 8 %. Výraznější růst však ČR zaznamenala až od roku 2008. Mimo v ČR tradiční výrobu energie prostřednictvím vodních elektráren, nabyly na významu fotovoltaické systémy výroby energie, výroba energie z biomasy a biologicky rozložitelného komunálního odpadu (VAISHAR, ŠTASTNÁ, 2014). Zmíněný cíl se povedlo naplnit, načež byl stanoven cíl nový. Evropská unie navýšila požadovaný podíl na minimálně 13 % do konce roku 2020.

Zvyšování podílu obnovitelných zdrojů je také součástí strategických záměrů České republiky. Podle MINISTERSTVA PRŮMYSLU A OBCHODU ČR (2014) je cílem postupný nárůst podílu obnovitelných zdrojů na hodnoty znamenající plné využití ekonomicky efektivního potenciálu zdrojů obnovitelné energie v ČR. Na grafu č. 1 je zobrazen vývoj struktury obnovitelných zdrojů na primárních energetických zdrojích. Můžeme zde sledovat plánovaný nárůst obnovitelných zdrojů. Z hlediska využití je nejvýznamnějším zdrojem energie získaná z biomasy, u které je nárůst předpokládán i v dalších letech. U fotovoltaiky můžeme pozorovat nárůst po roce 2025. Ostatní zdroje energie mají dle grafu mírné vzestupné tendence v budoucích letech.

**Graf 1 Vývoj a struktura OZE na primárních energetických zdrojích (MPO ČR, 2014)**



### 3.1.2 Charakteristika jednotlivých obnovitelných zdrojů

#### Sluneční energie

Bezpochyby nejdůležitější zdroj většiny obnovitelných energií je Slunce. Jedná se o zdroj energie, bez kterého by na zemi nemohl existovat život. Jeho energie pochází z nukleárních reakcí v jeho nitru, kde dosahuje teplota až 15 miliónů °C. Sluneční záření je využíváno ihned v podobě elektromagnetického záření, anebo později uložené po přeměně v jiný druh energie (CENEK, 2001). Slunce je obnovitelným zdrojem produkujícím energii využitelnou k produkci elektřiny a tepla. Využívání této energie je však závislé na mnoha faktorech, jako je například roční období, oblačnost, zeměpisná šířka atd. (ĎURICA a kol. 2010). Sluneční energie má více způsobů využití. Lze ji využívat k vyhřívání domů, k ohřevu vody v domácnostech a bazénech, k destilaci nebo sterilizaci vody, k výrobě elektřiny, k pohonu automobilů atd. (VAISHAR, ŠŤASTNÁ, 2014).

- **Fotovoltaické systémy**

Fotovoltaické systémy slouží k přeměně sluneční energie na elektrickou. Základním prvkem těchto systémů jsou fotovoltaické články. Článkem rozumíme velkoplošný polovodičový prvek, na kterém vzniká při dopadu slunečního záření fotovoltaické napětí. Články jsou vyrobeny z celé řady materiálů a podle koncepcí, lišících se barvou, svými vlastnostmi a výkonovými parametry. Nejčastěji se můžeme setkat s krystalickými články vyrobenými na bázi křemíku (HASELHUHN, 2011).

Přeměnu ze sluneční energie na elektrickou umožňují dva systémy. Prvním je ostrovní systém, který je vhodný v případech, kdy není možné připojení do rozvodné sítě nebo je příliš nákladné. Druhou skupinou jsou systémy zapojené do rozvodné sítě. Tyto systémy nejsou schopny vyrábět elektřinu v noci a při počasí s velkou oblačností. Pokud je tedy nezbytné mít k dispozici elektrickou energii i v těchto situacích, je nutné vyrobenou energii v době příznivých podmínek akumulovat. Dnes nejběžnějším řešením jak tak učinit, je využít elektrochemických akumulátorů. Nevýhodou tohoto způsobu je především snížení ekologické stránky, jelikož součástí akumulátorů je olovo. Další nevýhodou je i nízká životnost zmíněných akumulátorů (MOTLÍK, 2007).

U tohoto druhu získávání energie se můžeme také setkat s některými negativy. Nejčastěji jsou fotovoltaickým zařízením vytýkány vysoké počáteční náklady a nutná

velká plocha k aplikaci solárních panelů k produkci většího množství energie. I přes tyto problémy lze fotovoltaiku chápat jako technologii s velkým růstovým potenciálem a časově neomezenou možností výroby elektrické energie. Vzhledem k současné narůstající spotřebě a omezenosti fosilních paliv nabývá využití tohoto druhu získávání energie v dnešní době na významu (BENDA, 2012).

- ***Solární tepelné systémy***

Sluneční záření lze přeměnit také v tepelnou energii. Tato přeměna je založená na absorpci záření povrchem tuhých látek a kapalin, kdy se energie fotonů mění v teplo. Absorpčním povrchem rozumíme tepelný kolektor, který se vlivem slunečního záření ohřívá. Získaná energie je pak z tohoto povrchu odváděna nejčastěji vodou, vzduchem či nemrznoucí směsí. Více rozšířeným, především k vytápění budov jsou kolektory kapalinové (BENDA, 2012).

Využití solárních systémů je několik. V dnešní době nejvíce rozšířeným je využití těchto zařízení k přípravě teplé vody a k vytápění. Kromě obytných budov, ale s tímto způsobem využití se můžeme setkat také v terciárním sektoru, kde je stálá potřeba teplé vody po celý rok. Jsou to například hotely, domovy důchodců, radnice apod. Solární energie nalézá své využití také při vytápění bazénů. Teplem ze solárních kolektorů jsou poháněny také chladicí klimatizační zařízení v letních měsících. Své využití má solární energie také při průmyslových aplikacích. Vhodnými technologickými aplikacemi jsou například mytí a čištění, sušení, pasterizace, vytápění výrobních hal atd. (BENDA, 2012).

Solární tepelné soustavy lze použít v podstatě všude, kde je teplo potřeba. Nesmíme však zapomenout, že vzhledem k proměnlivosti slunečního záření během roku musí být stále tento zdroj brán jako doplňkový, a nikoli hlavní.

- ***Využití sluneční energie v ČR***

Jelikož se sluneční záření během roku mění, je využívání sluneční energie ovlivněné jeho dobou a intenzitou. Průměrná doba slunečního záření je v České republice kolem 1 500 hodin za rok, přičemž 75 % záření dopadne na zemi v rozmezí dubna až října. Intenzita slunečního záření na jednotku vodorovné plochy je nerovnoměrná. V České republice se pohybuje mezi hodnotami 900 kWh/m<sup>2</sup> až 1139 kWh/m<sup>2</sup> (BENDA, 2012). Jak hodnota průměrné doby slunečního svitu, tak

i intenzita slunečního záření jsou ve státech s teplejším klimatem vyšší. V současné době tak začínají být fotovoltaické elektrárny populární například ve státech Jižní Ameriky, kde může být vzhledem k tamnímu klimatu produkce fotovoltaických zařízení vyšší. Naopak v oblastech, kde dochází například ke střídání polárního dne a noci nebo tam, kde často sněží, se solární elektrárny stavět nevyplatí.

V České republice došlo k rozvoji solárních elektráren až od roku 2006, kdy byl zaznamenán masivnější nárůst těchto zařízení. Tento nárůst byl zapříčiněn klesajícími cenami solárních panelů a především státními dotacemi na podporu těchto zařízení. Po roce 2009 se však výkupní cena snížila natolik, že už je pro investory stavba velkých solárních parků neatraktivní. Tato situace naopak podpořila menší záměry, především umístování solárních panelů na střechy rodinných a panelových domů či veřejných budov (VAISHAR, ŠŤASTNÁ, 2014).

V současné době se v České republice nachází kolem 13 000 fotovoltaických elektráren s největším zastoupením v Plzeňském a Jihomoravském kraji (VAISHAR, ŠŤASTNÁ, 2014). Udává se, že životnost většiny fotovoltaických elektráren je v přibližně 30 let. Jelikož obsahují vedle skla, plastu a hliníku také některé těžké kovy, je potřeba při jejich likvidaci postupovat ekologicky. Z těchto důvodů vznikl dobrovolný program s názvem PV Cycle, podle kterého za výrobek odpovídá výrobce a dodavatel po celou dobu jeho životního cyklu, tedy i po jeho likvidaci (BECHNÍK, 2011).

### **Větrná energie**

Využívání větrné energie má své počátky v Persii kolem roku 200 př. n. l kdy se objevily první větrné zařízení podobné pozdějším větrným mlýnům. První větrné mlýny, jako takové, se začaly budovat v 7. století v oblasti dnešního Afghánistánu a Iráku. Tyto zařízení byly využívány především k mletí obilí, cukrové třtiny a čerpání vody (KARMIŠIN, 1952). Jejich pozůstatky můžeme nalézt také v Evropě, především na území Nizozemí, ale i v České republice.

Jako je tomu u většiny obnovitelné energie na naší planetě, i vítr vzniká díky slunečnímu záření. Děje se tak nerovnoměrným ohříváním vzduchu a země, což vede

k rozdílům v poli tlaku vzduchu. Příroda se snaží tyto rozdíly vyrovnávat, čímž vzniká vítr.

- ***Větrné elektrárny***

V současné době je větrná energie využívána především pro výrobu elektřiny pomocí větrných elektráren. Větrnými elektrárnami rozumíme zařízení, které přeměňují pohybovou energii větru na elektrickou energii. Vítr působící na listy turbíny roztáčí rotor umístěný na stožáru, čímž následně prostřednictvím generátoru vzniká elektrická energie. S rychlostí větru se výkon těchto zařízení neustále mění (BENDA, 2012). Tento typ technologie je dnes velmi populární, jelikož neznečišťuje životní prostředí a nemá negativní vliv na zdraví lidí. Vzhledem k tomu, že je možné energii větru využít skoro v každé části světa, mohla by být tato technologie užitečná také pro rozvojové oblasti.

Avšak i u této technologie najdeme některé skutečnosti, které někteří lidé vidí jako problémové. Především jsou to velký hluk, které tyto zařízení vydávají a negativní vliv na krajinný ráz. Najdou se i lidé, kterým se větrné elektrárny v přírodě líbí a pokládají je za moderní prvek. Výhodou těchto zařízení je jejich snadné odstranění po konci životnosti bez nežádoucích dopadů na životní prostředí (SEQUENS, HOLUB, 2004).

Z hlediska rozměrů můžeme tyto zařízení dělit na malé, střední a velké větrné elektrárny. Nejčastěji v přírodě narazíme na velké větrné elektrárny, které jsou hojně využívané jako levný zdroj elektrické energie po celém světě. Aby mohla být elektrárna považována za velkou, musí její průměr rotoru přesahovat 45 m a výkon 750 kW. V dnešní době jsou tyto zařízení v Evropě instalovány s výkonem větším než 40 000 MW, což odpovídá výkonu zhruba dvaceti našich jaderných elektráren Temelín. Největším producentem energie z větru jsou ve světě Čína a USA (BENDA, 2012).

Významnou kategorií jsou také malé větrné elektrárny. I přes menší produkci elektrické energie jsou tyto zařízení zajímavou technologií. Jejich využití je významné spíše z lokálního pohledu, například v místech bez připojení k elektrické síti. Mohou také zajišťovat soběstačnost jednotlivých budov. Průměr rotoru malých elektráren není zpravidla větší než 16 m a výkon vyšší než 60 kW (BENDA, 2012).

- ***Využití větrné energie v ČR***

K rozmachu větrných elektráren došlo na území ČR až koncem 80. let 20. století. Prvním podnikem, který začal vyrábět elektřinu prostřednictvím větrných elektráren, byla frýdecko-místecká společnost Mostárny. Podle údajů ČESKÉ SPOLEČNOSTI PRO VĚTRNOU ENERGII (2015) se v dnešní době na území ČR nachází 1 933 těchto zařízení, s celkovým výkonem 5 800 MW.

Kontinentální klima ČR není pro výstavbu větrných elektráren tím nejvhodnějším. Při rozmístění těchto zařízení proto musí být brán ohled především na rychlost větru v dané lokalitě. V ČR proto najdeme větrné elektrárny rozmístěny nerovnoměrně. Nejvíce elektráren se nachází na území Ústeckého kraje, po kterém následují kraj Karlovarský a Olomoucký.

Podle CHALUPY a HANSLIANA (2015) mohou větrné elektrárny vyrábět až třetinu elektřiny potřebné v ČR. Přibližně se tedy jedná o množství, které vyrobí dva jaderné reaktory, avšak za šestkrát nižší dotace. V případě naplnění potenciálu tohoto obnovitelného zdroje, bychom proto mohli ušetřit naše peněženky, ale také životní prostředí.

### **Vodní energie**

Využívání vodních toků patří k dlouhodobě používaným způsobům získávání energie. Největší rozmach vodní energie nastal v 18. století, kdy se na území Evropy otáčelo kolem 600 000 vodních mlýnů. Vodní kola však nesloužila pouze k pohonu vodních mlýnů. Sloužila také jako pohon pro jiné pracovní a výrobní stroje (QUASCHNING, 2010).

- ***Vodní elektrárny***

Jádrem celé vodní elektrárny jsou turbíny napojené na elektrický generátor. Vodní proud pak prochází lopatkami turbíny, kde odevzdá svoji mechanickou energii, která se následně přemění na energii elektrickou. Velikost výkonu ovlivňují dvě veličiny, kterými jsou průtok vody a výška spádu vody. Je tak nutné budovat uměle přehrady, jezy, přivádět vodu z jiného povodí, přečerpávat vodu atd. (QUASCHNING, 2010).

Můžeme narazit na různé rozdělení vodních elektráren. BENDA (2012) dělí vodní elektrárny podle velikosti instalovaného výkonu na malé, střední a velké. Dále pak



podle velikosti spádu na nízkotlaké, středotlaké a vysokotlaké. A v poslední řadě podle možnosti hospodaření s vodou. MOTLÍK (2007) rozlišuje tyto zařízení podle způsobu získávání spádu na elektrárny průtočné, derivační, přečerpávací a vyrovnávací.

Hlavními výhodami využívání tohoto druhu získávání energie jsou především dlouhá životnost, nízká poruchovost a také nízké provozní náklady. V případě životnosti se uvádí doba kolem 50 let. Naopak mezi nevýhody lze zařadit např. časově a nákladově náročnou výstavbu těchto zařízení (QUASCHNING, 2010).

- ***Využití vodní energie v ČR***

Přírodní podmínky pro budování vodních elektráren nepatří v ČR pro tento způsob získávání energie k těm nejlepším. Za tuto skutečnost může především malé množství vody a malý spád. Na našem území zabezpečují výrobu energie především velké vodní elektrárny Vltavské kaskády o celkovém instalovaném výkonu okolo 750 MW. (MASTNÝ, 2011).

V současné době se v ČR nachází kolem 1 400 vodních elektráren. Podle MINISTERSTVA PRŮMYSLU A OBCHODU ČR (2014) se tento stav již nebude zvyšovat, jelikož využívání tohoto způsobu získávání energie dosáhlo v podmínkách ČR svého maxima.

### **Energie biomasy**

Biomasu můžeme zařadit mezi nejdéle využívané zdroje energie. Její využití je známé už od dob, co lidé začali rozdělovat oheň. Ještě do konce 18. století byla biomasa považována za nejdůležitější zdroj energie. V rozvinutých zemích byl tento zdroj prakticky do začátku 21. století využíván jen nepatrně. Změna nastala až se zdražením ropy. Začaly se tak kromě tradičního využití biomasy ve formě palivového dřeva objevovat i nové formy využití, jako je výroba elektrické energie, paliva či plynu (QUASCHNING, 2010).

V širokém slova smyslu můžeme považovat za biomasu veškerou hmotu biologického původu na naší planetě. Zahrnuje rostlinnou biomasu, ve které je chemicky zakonzervovaná sluneční energie. Dále pak živočišnou biomasu, vedlejší organické produkty a organické odpady (CENEK, 2001).

Biomasu můžeme dělit několika způsoby, jak podle množství obsažené vody, tak i podle charakteru vzniku:

- ***Odpadní biomasa***
  - komunální sféra – komunální odpady z údržby zeleně, biologicky rozložitelné části komunálního odpadu (BRKO) a kaly z čistíren odpadních vod,
  - průmyslová výroba – potravinářství, papírenství, textilní průmysl, zpracování dřeva,
  - zemědělství – odpady a druhotné suroviny ze zemědělství, chovu zvířat a lesů.
- ***Cíleně pěstovaná biomasa***
  - zemědělské plodiny – kukuřice, čirok, žito, řepka, tráva, brambory a obilí,
  - rychle rostoucí dřeviny – topoly, vrby, osiky, jasany a eukalypty (MAREČEK, 2013).

Výhodou získávání energie z biomasy je velká různorodost vstupních surovin, ale i univerzální využití v energetice. Biomasu lze energeticky využít přímo či nepřímo. Přímým využitím označujeme termochemickou konverzi biomasy, tedy spalování. U nepřímého využití se biomasa přeměňuje do stavu plynného, kapalného či tuhého paliva, následně využitelného k termochemické konverzi oxidační exotermickou reakcí (MAREČEK, 2013). Biomasa je využívána k produkci tepla v centrálních vytápěcích systémech, samostatně či společně s fosilními palivy. Používá se také ke kombinované výrobě elektřiny a tepla za pomoci získaného bioplynu v bioplynových stanicích. Lze z ní také získávat kvalitní biopaliva, především bionaftu. (VAISHAR, ŠŤASTNÁ, 2014).

I u biomasy narazíme na nevýhody, které využití tohoto druhu získávání energie přináší. Zmínit můžeme nutnost dopravy vstupního materiálu k technickému zařízení, což může zvyšovat náklady i produkci skleníkových plynů. Dále také náklady na výstavbu technických zařízení a skladování. Negativní reakce jsou i na pěstování

energetických plodin, jako je kukuřice či řepka, jelikož jsou tyto plodiny nadměrně náchylné k erozi (VAISHAR, ŠŤASTNÁ, 2014).

V České republice je biomasa nejvýznamnějším obnovitelným zdrojem energie. V současné době představuje využívání biomasy 80% podíl z celkově využitelného potenciálu obnovitelných zdrojů. Především energetické využití biomasy je v České republice tradiční oblastí, která se neustále rozvíjí. I přes stále ještě dominantní postavení fosilních paliv zaujímá biomasa stále významnější postavení v energetickém mixu České republiky (VÍTEŽ a kol., 2013). Především výroba tepla a elektrické energie zažila za posledních 15 let velký rozmach. Jen mezi roky 2003 až 2012 vzrostl počet bioplynových stanic v České republice zhruba 6krát. V novém programovém období EU už však nejsou podpory pro využívání biomasy takové, jak tomu bylo v období předešlém. Najdou se zde však stále výzvy, které jsou určeny pro tento druh získávání energie. Prostředky z fondů EU tak mohou dostat žadatelé například na vyvedení tepla ze stávajících bioplynových stanic, využívajících bioplyn a k výrobě elektřiny a tepla. Nadále by také měla být zachována podpora biopaliv, konkrétně těch vysokoprocenních a čistých (CZECH INVEST, 2015).

## **3.2 Anaerobní fermentace**

Podle DOHÁNYOSE (2008) je anaerobní fermentace velmi složitý biochemický proces, který je složen z mnoha dílčích fyzikálních, fyzikálně – chemických a biologických procesů, na kterých se podílí několik skupin anaerobních mikroorganismů, u kterých může absence jedné skupiny negativně ovlivnit celý systém.

Jiná definice hovoří o anaerobní fermentaci jako vícestupňovém přírodním procesu rozkladu přírodních látek některými skupinami mikroorganismů bez přístupu kyslíku, za vzniku bioplynu a digestátu. Tento proces tak poskytuje technologický základ pro efektivní využití biologicky nerozložitelných odpadů z různých oblastí lidské činnosti jako zdroje surovin a energie (UŠŤAK, VÁŇA, 2006).

Mikroorganismy tohoto procesu mají svůj původ v době, kdy atmosféra na zemi neobsahovala žádný kyslík, který je pro ně velice toxický. Vlastnostmi těchto mikroorganismů je schopnost vytvářet metan a v již zmiňovaném anaerobním prostředí se rychle množit. Mimo anaerobního prostředí je třeba k dosažení správné aktivity

mikroorganismů vytvořit i jiné příznivé podmínky, za kterých se množí. S tímto procesem se proto můžeme setkat také v přírodě, kde k němu díky ideálním podmínkám samovolně dochází. Zmínit můžeme například rašeliniště, jezera či bachory přežvýkavců (SCHLUZ, EDER, 2004). BENDA (2012) zmiňuje několik životně potřebných podmínek pro tyto mikroorganismy:

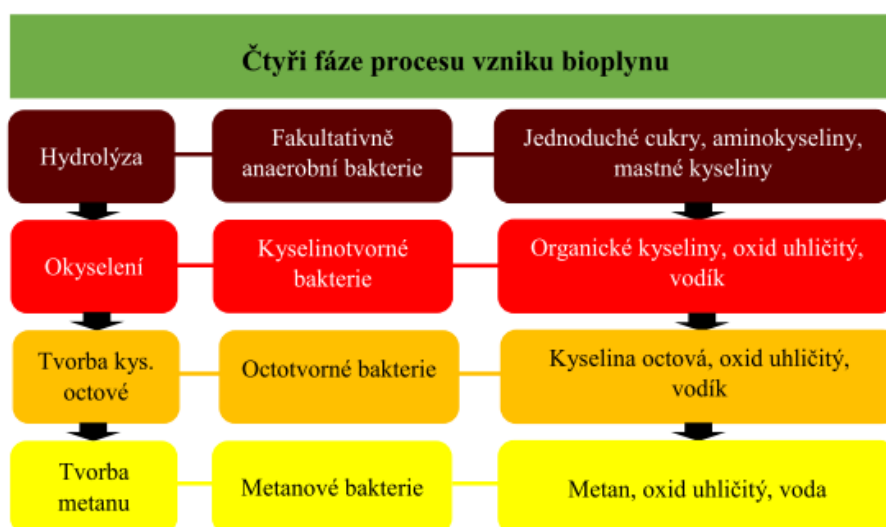
- **dostatek živin** – který by měl zajistit obsah sušiny organické látky v rozmezí do 50 %,
- **stálá teplota** – většina metanogenních bakterií pracuje při teplotě mezi 4 ° a 60 °C. Byly však objeveny bakterie, které snášejí teploty kolem 90 °C,
- **ideální hodnota pH** – v průběhu fermentace se tato hodnota mění, ovšem kyselost a zásaditost substrátu na vstupu by měla být v rozmezí pH 6,8–7,2,
- **bezokyslíkaté prostředí** – je-li v substrátu obsažen kyslík, musejí ho aerobní bakterie nejdříve spotřebovat,
- **absence chemických prostředků** – především těch, které zabraňují činnosti mikroorganismů (antibiotika).

### 3.2.1 Fáze procesu anaerobní fermentace

Jak již bylo zmíněno, proces anaerobní fermentace je složitý biochemický proces, kdy za pomoci mikroorganismů dochází k rozkladu organických látek obsažených ve vstupních surovinách. K tomu procesu dochází ve čtyřech na sebe navazujících krocích:

- **hydrolýza** – v první fázi přeměňují anaerobní bakterie makromolekulární organické látky (polysacharidy, lipidy a proteiny) na jednodušší organické látky (jednoduché cukry, aminokyseliny, mastné kyseliny a voda),
- **acidogeneze** – během této fáze jsou produkty hydrolýzy využity jako substrát pro acidogenní mikroorganismy, které provádí další rozklad na organické kyseliny, oxid uhličitý, sirovodík a čpavek,
- **acetogeneze** – ve třetí fázi dochází k přeměně produktů acidogeneze na vodík, oxid uhličitý a kyselinu octovou,
- **metanogeneze** – v předešlých fázích došlo k vytvoření podmínek pro čtvrtou, tedy poslední fázi – metanogenezi. Za pomoci metanogenních

bakterií zde dochází ke vzniku metanu, oxidu uhličitého a vody (SCHLUZ, EDER, 2004).



Obrázek 1 Čtyři fáze procesu fermentace (SCHULZ, EDER, 2004)

### 3.2.2 Rozdělení anaerobní fermentace

K účelné fermentaci dochází obvykle v bioplynových stanicích, konkrétně ve velkých vyhřívaných a míchaných nádržích, zvaných fermentory. Velikost těchto zařízení se odvíjí od množství a kvality vstupního materiálu, aktivní biomasy v reaktoru a požadované doby zdržení. Tyto zmíněné vlastnosti se potom podílí na výsledné kvalitě bioplynu. Nejběžněji se můžeme setkat s rozdělením technologie anaerobní fermentace na suchou a mokrou fermentaci. Podle KRATOCHVÍLOVÉ a kol. (2009) je však zmíněné rozdělení z biologického hlediska zavádějící, jelikož mikroorganismy, podílející se na fermentačním procesu, potřebují pro své přežití tekuté médium. Vzhledem k rostoucím tlakům na snižování skleníkových plynů, a s tím spojených vyšších cen za skládkování, se můžeme v budoucích letech dočkat rozvoje technologie zpracování bioodpadů (ROZEHNALOVÁ, 2006).

#### Suchá fermentace

Suchou fermentací nazýváme proces rozkladu organického materiálu s obsahem sušiny vyšším než 25 %, avšak který by neměl být vyšší než 50 %. Nejčastěji je aplikován materiál s obsahem sušiny v rozmezí 30-35 %. Při aplikaci v bioplynové

stanici je vstupní materiál naskladněn do fermentoru, ve kterém se vytvoří bezkyslíkaté prostředí a aktivují se anaerobní mikroorganismy. Zde je materiál vyhříván na požadovanou teplotu a pravidelně stříkán perkolátem<sup>2</sup> (MAREČEK, 2013). I přes malé rozšíření má tento postup výhodu především v tom, že jej lze použít pro rozklad biomasy, která by nešla zpracovat mokrou fermentací. Jsou to například travní senáž, kukuřičná siláž či vytríděné biologicky rozložitelné komunální odpady (POSPÍŠIL, 2004).

### **Mokrá fermentace**

Více rozšířeným postupem je mokrá fermentace, kde by obsah sušiny neměl být vyšší než 20%. U bioplynových stanic se při tomto procesu obvykle využívá materiál s obsahem sušiny mezi 8-12 %. V případě materiálu s vyšším obsahem sušiny, jako je například hnůj, podestýlka atd., je nutné před vstupem do fermentoru materiál naředit. K těmto účelům se využívá kejda či procesní voda vyseparovaná z již zfermentovaného kalu. I přes vyšší náročnost na vyhřívání je tento proces využívanější. V České republice ho používá kolem 98 % všech bioplynových stanic (VÍTEŽ a kol., 2013).

Lze se také setkat s rozdělením fermentace z hlediska reakčních teplot, které jsou optimální pro fermentační mikroorganismy. Jedná se o procesy *psychrofilní*, *mezofilní*, *termofilní* a *extrémně termofilní*. Nejběžněji aplikovaným systémem jsou procesy mezofilní při teplotě 38-42 °C, využívané především při procesu mokré fermentace. V některých případech se využívají také procesy termofilní (nad 45 °C). Tyto procesy jsou však z hlediska udržení stálé teploty velmi náročné na řízení. Psychrofilní proces (5-30 °C) je velmi pomalý, a proto není v praxi využíván vůbec (MAREČEK, 2013).

---

<sup>2</sup> kapalná fáze fermentovaného materiálu, která prosakuje na dno fermentoru, odkud je čerpána do zásobní nádrže

### 3.3 Bioplyn

Během vývoje Země se postupně objevovaly v přírodě směsi plynů biologického původu, které obsahovaly v různých koncentracích metan a oxid uhličitý, které lidé začaly postupně využívat. Již v době 1000 let př. n. l. dokázali tuto směs využívat Číňané. Nicméně vědecký zájem o bioplyn a jeho využití se objevuje až v průběhu 18. století (BENDA, 2012).

Bioplyn patří k důležitým obnovitelným zdrojům. I přesto, že v současnosti není stále možné, aby kompletně nahradil fosilní paliva, má však na rozdíl od nich širokou budoucí perspektivu využití. Nejenže slouží k získávání energie z cíleně pěstované biomasy, ale zároveň je při jeho výrobě zpracováván bioodpad. Jak již bylo v předchozí kapitole zmíněno, společně s digestátem je bioplyn konečným produktem anaerobní fermentace.

PASTOREK a kol. (2004) definují bioplyn jako jakoukoli plynou směs, která vznikla činností mikroorganismů. Jedná se především o směs metanu, oxidu uhličitého, dusíku, vodíku a dalších plynů.

K účelné výrobě bioplynu dochází především v bioplynových stanicích, čistírnách odpadních vod, ale také na komunálních skládkách. Vznikat však může také pod povrchem země, v bažinách a rašeliništích a na skládkách odpadů (PASTOREK a kol. 2004).

Portfolio surovin pro výrobu bioplynu je poměrně široké. Nejčastěji bývají využívané suroviny ze zemědělství, jako jsou zbytková a cíleně pěstovaná biomasa. Používaný bývá také odpad z hospodářských chovů zvířat, jako je například hnůj. Důležitým zdrojem jsou také odpady z údržby zeleně a kaly z čistíren odpadních vod (ČERMÁKOVÁ, TENKRÁT, 2011).

Obecně lze říci, že bioplyn získáme za určitých podmínek z každého vlhkého organického materiálu, který nazýváme biomasa. Tento materiál by však měl mít relativně malý podíl anorganické složky – popelovin<sup>3</sup>, které se procesu fermentace neúčastní (BENDA, 2012).

---

<sup>3</sup>příměsí všech anorganických prvků a jejich sloučenin (mimo vodu a hořlavinu s podílem síry), které jsou součástí uhlí

### 3.3.1 Složení a kvalita bioplynu

Na složení bioplynu se nejvíce podílí metan obvykle 55-70 %, který má rozhodující vliv na výhřevnost a energetickou využitelnost bioplynu. Druhým nejvýznamnějším plynem je oxid uhličitý, který bývá v bioplynu obsažen 30-45 %. Tyto dva plyny bývají někdy označovány jako majoritní. Kromě těchto složek obsahuje bioplyn také sirovodík, vodík, vodní páru, siloxany, aromatické a halogenové sloučeniny viz tab. 1 (REINHART, 1993). I přesto, že se jedná o příměsi, které se nacházejí v bioplynu minimálně, mohou působit problémy při jeho využívání. V případech využití bioplynu jako biopaliva, či k distribuci do rozvodné sítě zemního plynu, je proto nejprve zapotřebí provést čištění bioplynu. Tento proces slouží k odstranění nežádoucích příměsí obsažených v bioplynu, zejména oxidu uhličitého, sirovodíku a vody, za účelem zvýšení podílu metanu. Po tomto procesu se pohybuje obsah metanu kolem 96 % a lze ho tak aplikovat při zmíněných způsobech využití (SARPELI a kol., 2014).

Tabulka 1 Složení bioplynu (REINHART, 1993)

<u>Sloučenina</u>	<u>Chemický vzorec</u>	<u>Koncentrace</u>
<b>Metan</b>	CH <sub>4</sub>	55 - 70 % obj.
<b>Oxid uhličitý</b>	CO <sub>2</sub>	30-45 % obj.
<b>Dusík</b>	N <sub>2</sub>	0-5 % obj.
<b>Kyslík</b>	O <sub>2</sub>	<1 % obj.
<b>Uhlovodíky</b>	C <sub>n</sub> H <sub>2n+2</sub>	<1 % obj.
<b>Sirovodík</b>	H <sub>2</sub> S	0-0,5 % obj.
<b>Amoniak</b>	NH <sub>3</sub>	0 - 0,05 % obj.
<b>Vodní pára</b>	H <sub>2</sub> O	1 -5 % obj.
<b>Siloxany</b>	C <sub>n</sub> H <sub>2N+1</sub> SiO	0-50 % obj.

Kvalita bioplynu je udána především jako poměr metanu k oxidu uhličitému. Oxid uhličitý je v bioplynu nežádoucí, jelikož ho zředí a zapříčiňuje náklady především při skladování bioplynu. Je proto nutné se snažit o co nejvyšší obsah metanu. Kvalitu bioplynu ovlivňuje i mnoho procesních a materiálových parametrů. Obsah metanu, respektive kvalita bioplynu, závisí především na fermentační teplotě, době zadržení



substrátu ve fermentoru, předzpracování substrátu a jeho stupeň rozkladu. Při posuzování hospodárnosti bioplynové stanice je tak nutné zohledňovat nejen množství vyrobeného plynu, ale také obsah metanu v bioplynu (SCHULZ, EDER, 2004).

### 3.3.2 Možnosti využití bioplynu

Bioplyn získaný výrobou v bioplynových stanicích obsahuje vysoký podíl metanu. Z tohoto důvodu je vhodný k přímému energetickému využití a tradičně také pro pohon kogeneračních jednotek pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla:

- **přímé využití bioplynu s využitím tepelné energie** – přímé spalování bioplynu v kotlích je nejjednodušším způsobem využití bioplynu. Mimo přímé spalování v místě vzniku může být tepelná energie dopravována potrubím i koncovým uživatelům (ČERMÁKOVÁ, TENKRÁT, 2011),
- **kombinovaná výroba tepelné a elektrické energie** – vyprodukovaný plyn je využíván pro energetické účely v kogeneračních jednotkách pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla. Tato technologie je velmi efektivním využitím energie bioplynu. Účinnost kogeneračních jednotek přesahuje 90 %. Získaná energie může být použita pro pohon elektrických a tepelných zařízení v bioplynové stanici (čerpadla, řídicí jednotky, míchací zařízení, fermentory). Stále častěji však bývá elektřina prodávána také do rozvodné sítě. To stejné platí u energie tepelné, která bývá využita pro externí potřeby (VÍTĚZ a kol., 2013).

Existují i další způsoby využití bioplynu, z nichž některé jsou v současné době stále ve stádiu vývoje. Jednou z oblastí s největším potenciálem využití bioplynu je doprava. I přes stálou nadvládu fosilních paliv, respektive nafty a benzínu, můžeme v posledních letech pozorovat stále nárůst popularity biopaliv. Ve větších městech se tak můžeme setkat s prostředky hromadné dopravy, které ke svému pohonu využívají upravený bioplyn známý pod zkratkou CNG (UUSITALO a kol., 2013). Další využití bioplynu uvádí BENDA (2012):

- úprava na kvalitu biometanu a následná distribuce do rozvodné sítě plynu,

- kombinovaná výroba elektrické energie a využití tepla nebo chladu (trigenerační jednotka),
- využití bioplynu jako zdroje chemických surovin,
- pohon spalovacích motorů a mikroturbín.

### 3.4 Využití fermentačního zbytku (digestátu) z bioplynových stanic

Sekundárním produktem anaerobního rozkladu biologicky rozložitelných materiálů je fermentační zbytek nazývaný také jako digestát. Bývá tvořen nerozložitelnými zbytky organické hmoty, ale také odumřelou bakteriální mikroflórou, která se na procesu aerobní fermentace podílela (GERARDI, 2003).

Kvalita fermentačního zbytku závisí na několika faktorech. Velkou měrou ovlivňují kvalitu a výši produkce především: způsob úpravy vstupních materiálů před fermentací, procesní podmínky (doba zdržení, obsah sušiny atd.), ale také způsob a doba skladování fermentačního zbytku (MARCATO a kol., 2008).

Vzhledem k vysoké koncentraci celkového dusíku a draslíku, má fermentační zbytek kladný vliv při jeho aplikaci na zemědělskou půdu. V současné době proto digestát nachází největší uplatnění jako hnojivo (TAMBONE a kol., 2009).

Aby mohl být fermentační zbytek využíván jako hnojivo, musí z pohledu legislativy splňovat především hygienické požadavky. V případě, že vyhovuje všem parametrům požadovaných legislativou, lze ho využít k již zmíněnému hnojení (OBROUČKA a kol. 2015). Pokud se tak nestane, je s ním nakládáno jako s odpadem a může být dále použit například jako vstupní materiál v kompostárnách, rekultivační materiál mimo zemědělskou a lesní půdu nebo po vysušení jako palivo (VÍTĚZ a kol., 2013). Následuje výčet některých legislativních dokumentů, které nakládání s digestátem upravují:

- ***zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech*** – v případech, kdy byl digestát vyroben pouze ze statkových hnojiv a krmiv na pozemcích jeho producenta, nepodléhá registraci. V případech, kdy je digestát uváděn do oběhu za účelem prodeje, je nutné, aby byl ohlášen a popřípadě zaregistrován jako organické hnojivo podle tohoto zákona,

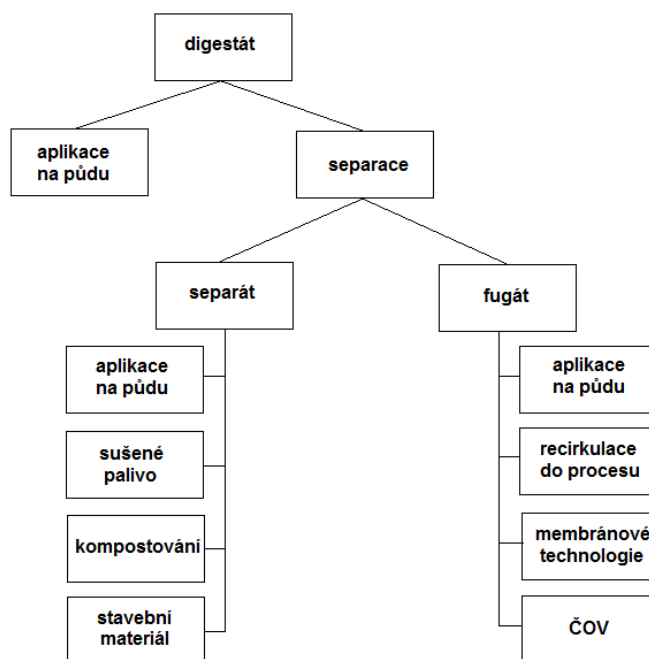
- **zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech** – v případech, kdy je digestát uváděn do oběhu jako hnojivo a nesplňuje požadované jakostní znaky, musí s ním být nakládáno podle zákona o odpadech,
- **vyhláška č. 341/2008 Sb.**, – stanovuje požadavky na digestáty z bioodpadů používané na zemědělské půdě,
- **vyhláška č. 474/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů** – stanovuje požadavky na hnojiva a to například maximálně přípustný obsah rizikových prvků v digestátu viz tab. 2.
- **nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002** – stanovuje požadavky na digestáty vzniklé biozplynováním vedlejších živočišných produktů.

**Tabulka 2 Maximální přípustné obsahy rizikových prvků v digestátu**

	<b>Měď</b>	<b>Zinek</b>	<b>Kadmium</b>	<b>Olovo</b>	<b>Chrom</b>	<b>Nikl</b>	<b>Rtut'</b>	<b>Arzén</b>
<i>mg/kg</i>	250	1200	2	100	100	50	1,0	20

U některých bioplynových stanic je fermentační zbytek separován na tuhou a tekutou část. Vedle přínosů agrochemických, může tato separace přinášet také přínosy ekonomické. Vzhledem k separaci se sníží objem digestátu a tím i požadavky na skladování, zlepší se manipulace s digestátem a následná aplikace (LUKEHURST a kol. 2010). Tuhá složka tzv. **separát** obsahuje větší část organické sušiny, obvykle kolem 33 – 40 % a méně živin (N, P, K). Nejčastěji se separát využívá ke kompostování. Naopak tekutý podíl tzv. **fugát** obsahuje jen malý podíl organické sušiny, nejčastěji mezi 5 – 12 % a větší podíl již zmíněných živin z původního digestátu. Fugát bývá obvykle doplněn minerálními přísadami a použit jako hnojivá zálivka nebo tekuté hnojivo (BENDA, 2012).

Využití fermentačního zbytku je ovlivněno zejména jeho výslednou kvalitou, tedy vstupy do bioplynové stanice a konkrétní situací každé bioplynové stanice (VÍTĚZ a kol., 2013). Možné způsoby nakládání s fermentačním zbytkem jsou uvedeny na obr. 2.



Obrázek 2 Způsoby nakládání s fermentačním zbytkem (VÍTĚZ a kol., 2013)

### 3.4.1 Digestát jako hnojivo

Zejména díky svému původu je digestát dle Ministerstva zemědělství považován za organické hnojivo. Podle DOSTÁLA a kol. (2015) je však toto zařazení zavádějící, jelikož je digestát svými vlastnostmi a účinky podobnější kombinovaným minerálním hnojivům.

Pro aplikaci digestátu na zemědělskou půdu vhodné využít digestát získaný z procesu fermentace, kde vstupní surovinou byly zejména statková hnojiva a materiály rostlinného charakteru, jako je kukuřičná siláž, obilniny, sláma všech obilovin i olejnin, bramborová nať atd. V případě vhodné skladby vstupních surovin a dostatečné doby zdržení ve fermentoru, by mělo být dosaženo kvalitního fermentačního zbytku, který nezapáchá, nebo vykazuje jen malou míru zápachu (VÍTĚZ a kol., 2013). V ČR je dle CIGÁNKA a kol. (2011) nejpoužívanějším vstupním substrátem pro anaerobní fermentaci kejda. Aplikaci tuhé i tekuté složky lze provádět podobně jako aplikaci tekutých a tuhých statkových hnojiv. Lze tak využít fekálních cisteren či jiných aplikátorů, které jsou vybaveny různými aplikačními koncovkami nebo nástavbami.

Mezi nejvhodnější prostředky patří injektážní, hadicové a botkové aplikátory (KAPUINEN, REGINA, 2010).

Také produkce digestátu může být finančně výhodná. V tomto případě z ní však netěží bioplynové stanice, ale především zemědělci. Ti mohou ušetřit finanční prostředky, které by za jiných okolností museli použít k nákupu hnojiv. Ovšem vezmeme-li v potaz náklady na dopravu a aplikaci fermentačního zbytku na půdu, je zapotřebí při jeho případném odběru zohlednit dojezdovou vzdálenost a ostatní náklady. Digestát proto nejčastěji využívají zemědělci hospodařící v blízkostech bioplynových stanic.

Na základě zkušeností, je hnojení digestátem uplatňováno nejčastěji při pěstování brambor, kukuřice na zrno i silážní kukuřice, a to především v podmínkách absence živočišné výroby provázané nedostatkem statkových hnojiv (KASAL a kol. 2010).

Digestát je hnojivo, které lze považovat za zdroj snadno přístupného dusíku, který je pro správný růst rostlin nezbytně nutný, především v období jeho největšího požadavku na tuto živinu. Naopak minimální množství dusíku je třeba dodávat v období nízkého odběru dusíku rostlinami. Z hlediska účinnosti lze rychle uvolnitelný dusík v digestátech považovat za srovnatelný s rychlostí účinku dusíku v minerálních hnojivech (DOSTÁL, RICHTER, 2008). Podle studie LOŠÁKA a kol. (2011) má kromě přímého vlivu na rostlinu hnojení digestátem také pozitivní vliv na úrodnost půdy, ovšem pouze při splnění určitých předpokladů.

Nevýhodou digestátu je z pohledu DOSTÁLA a kol. (2015) nízký obsah lehce rozložitelných primárních organických látek. Tyto látky je proto nutné dodávat do půdy například zaorávkou posklizňových zbytků, hnoje, kompostu, slámy či pěstováním meziplodin. Jejich absence v půdě snižuje obsah humusu, čímž se zhoršují některé půdní vlastnosti a dochází k poklesu půdní úrodnosti.

Každý digestát je svým způsobem specifický, je proto důležité na základě chemického složení, fyzikálních a biologických vlastností zhodnotit, zda jej lze využít ke hnojení (TAMBONE, 2009). Aplikací nekvalitního fermentačního zbytku může být negativně ovlivněn růst a životní cyklus rostlin (FUCHS a kol., 2008). Ke hnojení nepoužitelný se stává dle KOUTNÉHO (2010) digestát v případech, kdy je u něj zjištěna nadlimitní přítomnost těžkých kovů. Na základě experimentální činnosti,

monitoringu a studia uvádějí, DOSTÁL a kol.(2015), že většina negativních názorů na digestát se stává při správné aplikaci na zemědělskou půdu neopodstatněnými. Dle jejich názoru je důležité aplikovat digestát na zemědělskou půdu podle zásad správné zemědělské praxe. Pokud se tak bude dít, bude hnojení digestátem dosahovat požadovaného účinku z pohledu harmonické výživy, ale také z pohledu úrovně a kvality výnosu polních plodin. Jelikož je digestát zdrojem živin, může být nápomocný z hlediska produkční účinnosti půd v podmínkách setrvalého zemědělství.



Obrázek 3 Vlevo tekutý digestát - fugát (foto: T. Dvořáček)



Obrázek 4 Vpravo hnojení digestátem (foto: T. Dvořáček)

### 3.5 Bioplynové stanice

Bioplynové stanice můžeme považovat za technologická zařízení zpracovávající biomasu čili materiál organického původu. Technologie bioplynových stanic je založena na využívání procesu anaerobní fermentace pro řízenou přeměnu organického uhlíku obsaženého v biologicky rozložitelných materiálech za nepřístupu vzduchu. K samotnému zpracování biomasy dochází ve fermentačních nádržích neboli fermentorech, za vzniku bioplynu a fermentačního zbytku. Bioplyn obsahující metan je z energetického pohledu zajímavějším výstupem nežli fermentační zbytek. Po jeho vzniku ve fermentoru bývá odváděn nejčastěji do kogenerační jednotky, kde je využíván ke kombinované výrobě elektrické energie a tepla. Vzniklá elektrická energie může být využívána k vlastním účelům bioplynové stanice, anebo je ji možné rozvádět do distribuční sítě za výkupní ceny elektřiny z obnovitelných zdrojů. Své využití má i získané teplo, které slouží nejčastěji k vlastním účelům bioplynových stanic

(SCHULZ, EDER, 2004). Dříve se většina nespotřebovaného tepla vypouštěla do atmosféry, což už dnes není tak běžné. Získané teplo tak bývá za pomoci horkovodů dále rozváděno například do hospodářských areálů, kde bývá využíváno k sušení zemědělských plodin, dřeva, dřevní štěpky, k vytápění stájí apod. Stále běžněji jsou teplem z bioplynových stanic zásobeny také podniky, budovy či rodinné domy v přílehlých obcích (ŠAFARÍK, 2012).

### **3.5.1 Vývoj a současná situace bioplynových stanic v ČR**

Historie výstavby bioplynových stanic v České republice se začala psát v roce 1974 postavením první bioplynové stanice na okraji Třeboně. Avšak k největšímu rozmachu výstavby bioplynových stanic začalo docházet až od roku 2004 se vstupem České republiky do Evropské unie. Jako člen této organizace se Česká republika zavázala ke zvýšení podílu obnovitelných zdrojů na hrubé spotřebě elektřiny do roku 2010 na 8 %. Tento závazek byl tak jedním z hlavních motivů pro podpoření získávání energie z obnovitelných zdrojů. O rok později proto vešel v platnost zákon 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů, který ke splnění závazku měl napomoci. Investory měly motivovat také vyšší výkupní ceny za elektřinu vyrobenou z obnovitelných zdrojů a investiční dotace Ministerstva zemědělství, Ministerstva průmyslu a obchodu a Ministerstva životního prostředí (BENDA, 2012).

Rozmach bioplynových stanic lze demonstrovat na údajích z let 2003 a 2012. Zatímco v roce 2003 bylo na území České republiky instalováno 81 bioplynových stanic o celkovém výkonu 25 MW, koncem roku 2012 jich už bylo 487 o celkovém výkonu 363,24 MW (MAREČEK, 2013).

Česká republika zaujímá v současné době páté místo v počtu bioplynových stanic v rámci celé Evropy. Dle aktuálních údajů se na území ČR nachází přibližně 554 bioplynových stanic (ČESKÁ BIOPLYNOVÁ ASOCIACE, 2015). Před námi jsou pouze Německo, Itálie, Švýcarsko a Francie. V posledních letech však není nárůst nových zařízení v těchto zemích tak výrazný jak v předchozích letech a tento trend by měl pokračovat i nadále. Naopak je očekáván nárůst bioplynových stanic v zemích, jako je Rumunsko, Bulharsko či Polsko (TRÁVNÍČEK a kol. 2015).

Za tímto poklesem počtu nových bioplynových stanic stojí v ČR především snížení podpory pro budování nových zařízení. V současné době jsou podporovány spíše zařízení stávající. Jejich majitelé tak mohou využít peněžní prostředky formou investičních dotací především k modernizaci svých zařízení.

### **3.5.1 Aktuální podpora pro bioplynové stanice**

V současné době je další podpora pro obnovitelné zdroje velmi diskutovaným tématem, které rozděluje společnost. Důkazem může být i váhavost vrcholných představitelů státu s vypsáním podpory pro současné období. Teprve až na konci roku 2015 vláda schválila nařízení o podpoře elektřiny a tepla z obnovitelných zdrojů pro rok 2016. V současném roce je na podporu obnovitelných zdrojů energie vyhrazeno až 42 miliard korun (OENERGETICE.CZ, 2015).

Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie vydává cenové rozhodnutí, kterým se stanoví výkupní ceny a zelené bonusy pro podporované zdroje energie. Je na každém producentovi energie z obnovitelných zdrojů, jakou formu podpory si zvolí. Avšak v rámci jedné výroby elektřiny nelze kombinovat podporu formou výkupních cen a zelených bonusů na elektřinu (ERÚ, 2015).

- ***Výkupní cena***

Dle zmíněného zákona 165/2012 Sb. má provozovatel regionální distribuční soustavy (nebo provozovatel přenosové soustavy) povinnost od producenta odkoupit vyprodukovanou elektrickou energii za cenu stanovenou rozhodnutím Energetického regulačního úřadu. V případě, kdy potřebuje energii sám producent, je nucen si za ni platit. Tuto podporu není možné kombinovat s podporou elektřiny formou zelených bonusů (VLČEK, ČERNOCH, 2012). Při zvolení tohoto druhu podpory má producent elektrické energii takřka jistý odbyt, zatímco u podpory formou zeleného bonusu není odbyt vyprodukované elektrické energie nikterak garantován (ZELENYBONUS.EU, 2016).

- ***Zelený bonus***

Tento druh podpory lze chápat jako příplatek k tržní ceně elektřiny, kterou dostane její producent. Existují dva druhy zeleného bonusu a to hodinový a roční. Pokud si producent elektrické energie zvolí tento druh podpory, nabídne a vzápětí i prodá



elektrickou energii za tržní cenu obchodníkovi, nebo konečnému zákazníkovi a zároveň má právo inkasovat od provozovatele regionální distribuční soustavy zelený bonus. Výše tohoto bonusu je každoročně stanovena Energetickým regulačním úřadem (VLČEK, ČERNOCH, 2012). Zelený bonus bývá využíván častěji. Je vhodný v případech, kdy je producent elektrické energie schopný alespoň část vyrobené elektrické energie sám spotřebovat. Logicky tedy, čím vyšší je spotřeba producenta elektrické energie, tím je pro něj využívání tohoto druhu podpory výhodnější (ZELENYBONUS.EU, 2016).

Z pohledu podpory je ekonomicky nejvýhodnějším způsobem kombinovaná výroba elektřiny a tepla, běžně uváděna zkratkou **KVET**. Zatímco bioplynové stanice vyrábějící z biomasy pouze samostatně elektřinu využívali teplo jen minimálně, při kombinované výrobě elektřiny a tepla je cílem zužitkovat i vyráběné teplo. Tato výroba je uskutečňována nejčastěji pomocí kogeneračních jednotek.

Bioplynové stanice s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla mají možnost využít pouze ročního zeleného bonusu. Roční zelený bonus na elektřinu z KVET se skládá ze dvou sazeb a to základní a doplňkové a je omezen řadou podmínek.

Výši zeleného bonusu KVET stanovuje každý rok Energetický regulační úřad v cenovém rozhodnutí pro konkrétní rok. Dle údajů ERÚ (2015) se výše základní sazby odvíjí od data uvedení výroby do provozu, výše instalovaného výkonu a maximálního ročního počtu provozních hodin. Vedle zmíněných podmínek základní sazby rozlišuje doplňková ještě kategorii biomasy a proces využití. Tuto sazbu není možné uplatnit pro nově vzniklé bioplynové stanice, jelikož ji lze využít na zařízení uvedená do provozu do 1.1 2014. Dalším omezením je také maximálního počet provozních hodin za rok. Ten je pro tuto sazbu stanoven na 4 400.

Vzorec pro výpočet výsledné podpory elektřiny z kombinované výroby elektřiny a tepla (ERÚ, 2015):

$$C_{zb} = E_{kvet} * (ZB_{zakl.sazba} + ZB_{dopl.sazba})$$

$C_{zb}$ - celková výše podpory na elektřinu z KVET v Kč

$E_{kvet}$ - množství elektřiny z KVET

$ZB_{zakl.sazba}$ - základní sazba zeleného bonusu

$ZB_{dopl.sazba}$ - doplňková sazba k základní sazbě zeleného bonusu

Tabulka 3 Základní sazba ročního zeleného bonusu - KVET do 5 MWe (ERÚ, 2015)

f./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Provozní hodiny [h/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
	a	b	c	d	e	j	m
700	Elektřina z KVET s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad	-	31.12.2015	0	200	3 000	1 580
701		-	31.12.2015	0	200	4 400	1 115
702		-	31.12.2015	0	200	8 400	215
703		-	31.12.2015	200	1 000	3 000	1 140
704		-	31.12.2015	200	1 000	4 400	740
705		-	31.12.2015	200	1 000	8 400	135
706		-	31.12.2015	1 000	5 000	3 000	800
707		-	31.12.2015	1 000	5 000	4 400	470
708		-	31.12.2015	1 000	5 000	8 400	45
709	Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny současně podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad	-	31.12.2015	0	5 000	8 400	45

Tabulka 4 Doplnková sazba ročního zeleného bonusu za veškerou elektřinu z KVET (ERÚ, 2015)

f./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Kategorie biomasy a proces využití	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
	a	b	c	d	e	k	m
770	Výrobní elektřiny spalující čistou biomasu	1.1.2013	31.12.2013	0	5000	O	100
771		1.1.2014	31.12.2015	0	5000	O	455
772	Výrobní elektřiny spalující (samostatně) plyn ze zplyňování pevné biomasy	1.1.2013	31.12.2013	0	2500	O	455
773		1.1.2014	31.12.2015	0	2500	O	755
774	Výrobní elektřiny spalující bioplyn v bioplynové stanici	1.1.2013	31.12.2013	0	2500	AF	455
775	Výrobní elektřiny spalující bioplyn v bioplynové stanici splňující podmínku bodu (3.4.2.)	1.1.2014	31.12.2015	0	2500	AF	900
776	Nová výrobní elektřiny spalující bioplyn v bioplynové stanici splňující podmínku bodu (3.4.3.)	1.1.2014	31.12.2015	0	550	AF	900
777	Výrobní elektřiny spalující dříví plyn	1.1.2013	31.12.2015	0	5000	-	455
778	Výroba elektřiny spalováním komunálního odpadu nebo společným spalováním komunálního odpadu s různými zdroji energie	-	31.12.2012	0	5000	-	155
779	Výrobní elektřiny spalující (samostatně) zemní plyn	-	31.12.2015	0	5000	-	455

Tab. 3 obsahuje údaje platné pro zdroje s instalovaným výkonem menším než 5 MWe. Podporovány jsou ale také zařízení s výkonem vyšším. Jejich podpora je však zřetelně menší.

### 3.5.2 Rozdělení bioplynových stanic

Metodický pokyn vydaný MINISTERSTVEM ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ ČR (2014) rozlišuje bioplynové stanice podle druhu zpracovávaného materiálu do tří kategorií. Jedná se o *zemědělské, čistírenské* a *ostatní bioplynové stanice*. Na základě tohoto rozdělení byly jednotlivým kategoriím bioplynových stanic stanoveny podmínky pro jejich schvalování:

- ***Zemědělské bioplynové stanice***

Jedná se o zařízení, která zpracovávají materiály rostlinného charakteru a statková hnojiva, respektive podestýlky. V těchto bioplynových zařízeních není možné zpracovávat odpady definované českým zákonem č. 185/2001 Sb., o odpadech, ani jiné materiály spadající pod Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009 o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu a získané produkty, které nejsou určeny k lidské spotřebě

Tato kategorie je v České republice zastoupena nejvíce a to především díky jednoduché technologii a nižším nárokům na obsluhu. Nejčastěji zde zpracovávanými surovinami jsou statková hnojiva (hnůj, kejda apod.) a cíleně pěstované plodiny k energetickým účelům (kukuřice, obiloviny apod.) Aby byl zaručen dostatečný přísun surovin pro provoz, bývá v ideálním případě investorem zemědělec. Často tak můžeme narazit na tento typ bioplynových stanic v areálech zemědělských podniků nebo v jejich dosahu. Své uplatnění zde nalézá kromě bioplynu také fermentační zbytek, který bývá využíván jako hnojivo. Na celkovém počtu bioplynových stanic v České republice se ty zemědělské podílejí zhruba 70 %. Jejich nárůst můžeme deklarovat na letech 2002 a 2015. V roce 2012 bylo v České republice 7 bioplynových stanic zemědělského typu, kdežto v roce 2015 byl celkový počet těchto zařízení 382 (ČESKÁ BIOPLYNOVÁ ASOCIACE, 2015).

- ***Čistírenské bioplynové stanice***

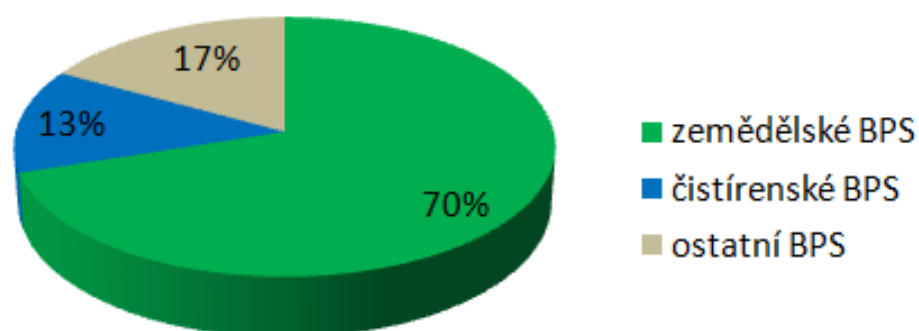
Nedílnou součástí čističek odpadních vod bývají čistírenské bioplynové stanice. Kal vznikající v čističce odpadních vod je procesem anaerobní stabilizace přeměněn na bioplyn. Do tohoto zařízení nevstupují jiné materiály než kaly z čističky odpadních vod, žump, septiků a odpadní voda. V případě přidání jiného odpadu podle zákona

o odpadech do nádrží na anaerobní vyhnívání, je tato bioplynová stanice řazena mezi ostatní a vztahují se na ni všechny požadavky zákona o odpadech a jeho prováděcích předpisů. Tento druh bioplynových stanic tedy není určen ke zpracování biologicky rozložitelného opadu a k nakládání s ním, ale slouží jako součást kalového hospodářství čističek odpadních vod jako celku. V současné době se v České republice nachází 98 bioplynových stanic čistírenského typu, což z celkového počtu bioplynových stanic v České republice představuje 13 % (ČESKÁ BIOPLYNOVÁ ASOCIACE, 2015).

- **Ostatní bioplynové stanice**

Do této kategorii patří zařízení, které z hlediska podmínek nesplňují náležitosti zemědělských či čistírenských bioplynových stanic. Mimo odpad, který je využíván u předchozích dvou druhů zařízení, jsou zde zpracovávány také vedlejší živočišné produkty, které spadají pod Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002 a musí plnit podmínky v něm stanovené, především na hygienizaci substrátu. Můžeme sem zařadit například bioplynové stanice zpracovávající komunální bioodpady, skládkové odpady, či rizikové odpady z průmyslových výroby. Aktuálně v České republice můžeme najít 74 zařízení tohoto druhu (ČESKÁ BIOPLYNOVÁ ASOCIACE, 2015).

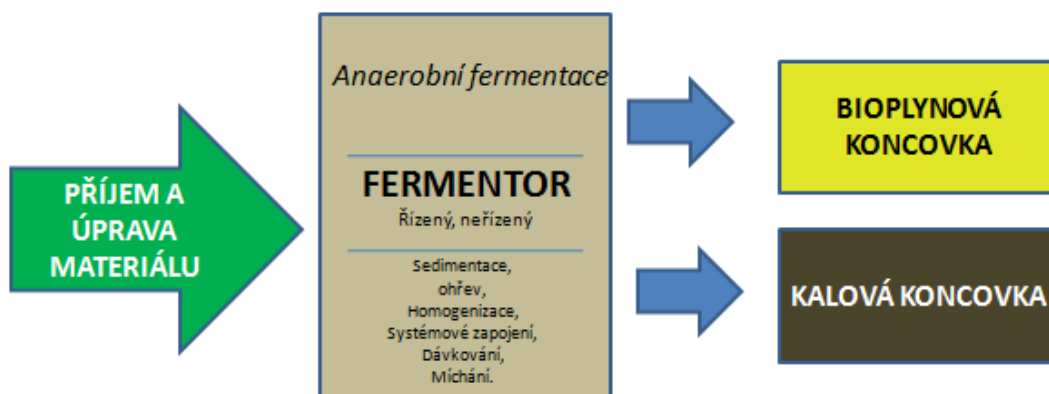
**Graf 2 Rozdělení jednotlivých druhů BPS (ČESKÁ BIOPLYNOVÁ ASOCIACE, 2015)**



### 3.5.3 Části bioplynové stanice

Podle BENDY (2012) se prakticky všechny bioplynové stanice skládají ze čtyř hlavních technologických celků a to z *příjmové části, fermentoru či soustavy*

*fermentorů, z bioplynové koncovky a kalové koncovky viz obr 5. Tyto celky se od sebe liší svým uspořádáním, jsou-li určeny ke zpracování tuhého či tekutého materiálu. Nejvíce rozšířené jsou technologické celky zpracovávající tekuté materiály s obsahem sušiny na vstupu nižším než 15 %. V České republice tuto technologii využívá 98 % všech bioplynových stanic. Zbytek bioplynových stanic využívá technologii, při které je zpracováván materiál s obsahem sušiny přes 15 % (VÍTĚZ a kol., 2013).*



Obrázek 5 Schéma jednotlivých technologických prvků BPS (BENDA, 2012) vlastní úprava

- **Příjmová část**

V této části se provádí úprava materiálu. Dle BENDY (2012) se v příjmové části odehrávají následující operace:

- separace nevyhovujícího materiálu (sklo, kovy, písek, kusy dřeva atd.),
- míchání více druhů materiálu, optimalizace materiálových parametrů (obsah sušiny, hodnota pH atd.),
- ředění nebo zahušťování materiálu, postřik materiálu perkolátem,
- homogenizace, dezintegrace, popřípadě hygienizace materiálu,
- dávkování materiálu do fermentoru,
- hydrolýza.



Obrázek 6 Plnění vstupního dávkovače BPS Pleše (foto: Bioplyncs.cz)

- *Fermentory*

Nejdůležitější částí bioplynové stanice je fermentor, ve kterém probíhá rozklad biologicky rozložitelných materiálů. Součástí reaktoru je také míchací zařízení, zařízení pro ohřev, homogenizačním zařízení a dávkovací zařízením. Existuje více druhů fermentorů, které mohou být vyrobeny z betonu, plastu či oceli. Připomínat mohou válec případně kvádr a jejich umístění může být buď nad, nebo pod povrchem terénu. Jaká bude konstrukce fermentoru, závisí především obsahu sušiny zpracovávaného materiálu (VÍTĚZ a kol., 2013). U mokré fermentace rozlišuje BENDA (2012) fermentory na podle tvaru na válcové a horizontální. Pro suchou fermentaci uvádí fermentory garážovitého typu využívané především v Německu.

U bioplynových stanic využívající pouze jeden fermentor, ve kterém probíhá celý proces anaerobní fermentace. Tomuto způsobu říkáme jednostupňová fermentace a bývá nejčastěji využíván při zpracování potravinářských odpadů, zemědělských odpadů apod. Pro snadněji rozložitelné látky (rostlinné zbytky, energetické plodiny) může být vhodnější dvojstupňová fermentace, při které probíhají některé fáze anaerobní fermentace odděleně (VÍTĚZ a kol., 2013).

PASTOREK a kol. (2004) rozdělují technologii fermentorů také podle způsobu dávkování surového materiálu na diskontinuální, semikontinuální a kontinuální. Technologie diskontinuální je náročnější na obsluhu a je využívána především u suché fermentace tuhých organických materiálů. Méně náročným na obsluhu je technologie

semikontinuální, která je využívána při zpracování tekutých organických materiálů. Kontinuální dávkování se využívá při rozkladu materiálu s velmi nízkým obsahem sušiny. Pokud není dávkování dostatečné, snižuje se produkce bioplynu. Naopak v případě předávkování dochází k okyselení materiálu, díky čemuž může fermentační proces zkolabovat (ROZEHNALOVÁ, 2011).



Obrázek 7 Pohled na paralelně provozované fermentory (foto: A. Moravec)

- ***Skladování a úprava bioplynu***

Bioplyn získaný anaerobní fermentací ve fermentorech bývá skladován ve vyrovnávacích plynojemech a dále případně upravován až do podoby formy biometanu. Funkcí vyrovnávacích plynojemů je vyrovnávat rozdíly mezi výrobou a spotřebou bioplynu. Některé bioplynové stanice však pracují efektivně i bez nich. Bioplyn, který nenajde své využití, je spalován bezpečnostním hořákem. Úprava bioplynu je prováděna sušením, odstraňováním oxidu uhličitého, sulfanu a dalších příměsí (BENDA, 2012).



Obrázek 8 Vlevo dvoumembránový plynojem u BPS v Třeboni (foto: M. Kajan)



Obrázek 9 Vpravo kogenerační jednotka (foto: P. Trávníček)

- ***Kalová koncovka***

Výstupem anaerobní fermentace je vedle bioplynu také digestát. Ten je odváděn z fermentoru kalovou koncovkou, který může v případě menších bioplynových stanic končit skladovacím zásobníkem s homogenizačním zařízením. Zakrytí tohoto zásobníku může zvýšit celkovou produkci bioplynu o 5–20 %. Větší bioplynové stanice separují digestát na tuhý podíl s větším obsahem organické sušiny a tekutý podíl s nízkým obsahem sušiny. Separace může být provedena několika druhy separátorů: šnekovým separátorem, pásovým separátorem, odstředivkou, usazovací nádrží, odpařovací lagunou, polokruhovými nebo kruhovými síty či bubnovým separátorem (BENDA, 2012).



Obrázek 10 Separátor na úpravu digestátu (foto: Oekobit-biogas.com)

### **3.5.4 Potenciální vlivy bioplynových stanic na region**

Vedle celospolečenských pozitivních vlivů jako je snižování závislosti státu na dovozu fosilních paliv, využívání odpadní biomasy a omezení emisí skleníkových plynů může být provoz bioplynových stanic užitečný také pro obec a region. Velikost užitku je velice individuální a záleží na více faktorech, jako jsou druh a velikost bioplynové stanice, dostupnost biomasy, možnosti obce a úmysly investora. Internetový server BIOPLYNOVESTANICE.CZ (2008), uvádí následující pozitivní vlivy výstavby bioplynových stanic pro obec, region a jejich občany:

- ***levné teplo*** – teplo z bioplynových stanic je možné využít k vytápění obecních budov, rodinných domů, nebo ho lze využít k provozu obecních zařízení jako je například čistička odpadních vod,



- **vytvoření nových pracovních míst** – průměrně každá bioplynová stanice zaměstnává 3–6 pracovníků. Záleží samozřejmě na typu a velikosti bioplynové stanice,
- **zpracování biologických zbytků** – podle druhu stanice tak mohou být zpracovány odpadní produkty živočišné a rostlinné výroby, biologicky rozložitelný komunální odpad, kaly z čističek odpadních vod a jiné produkty. Zpracování těchto typů odpadu přijde jeho producenta na zlomek ceny skládkovného,
- **zapojení místních zemědělců** – ti mohou využívat fermentačního zbytku produkovaného v bioplynových stanicích jako účinného hnojiva pro svoje pozemky. Mohou být také dodavateli surovin pro výrobu bioplynu,
- **splnění legislativních požadavků** – v současné době se zvyšují nároky na třídění a efektivní využívání biologicky rozložitelného odpadu. Těmto požadavkům vyhovuje zpracování bioodpadů v bioplynových stanicích,
- dalšími výhodami jsou také **zlepšení životního prostředí v regionu** nebo **redukce zápachu ze zemědělství**.

Z globálního pohledu jsou bioplynové stanice jednoznačně přínosem. Avšak vedle pozitivních vlivů může provoz bioplynových stanic představovat také určité problémy. Přeorientování zemědělců na pěstování energetických plodin může přispívat k zúžení osevních postupů a erozi. Současná výroba bioplynu je v zemědělských bioplynových stanicích založena převážně na využívání kukuřice, která patří mezi vysoce erozní plodiny. Pro zachování dobré půdní úrodnosti je proto nutné dodržovat protierozní osevní postupy a zásady DZES – Dobrý zemědělský a environmentální stav. Na silně erozně ohrožených plochách (SEO) je pěstování kukuřice zakázáno a na mírně erozně ohrožených plochách (MEO) je pěstování kukuřice umožněno pouze v tzv. půdoochranných systémech (LOŠÁK, 2016).

Jedním z nejčastěji uváděných regionálních problémů je navýšení dopravní zátěže v okolí bioplynové stanice. Zvýšená zátěž místních komunikací může způsobit větší prašnost a hlučnost v těchto místech.

Dalšími nejčastějšími obavami lidí jsou znehodnocení krajiny objektem bioplynové stanice a únik zápachu při zpracovávání či převezu odpadu. Avšak při správném dodržování provozního řádu bioplynové stanice, použití aktuálních technologií a kázní personálu může být zápach ze zemědělství redukován.

## 4 Praktická část

### 4.1 Materiál a metody pokusu

Vegetační nádobový experiment s kedlubnami odrůdy Moravia byl založen na jaře roku 2015 ve venkovní vegetační hale arboreta Mendelovy univerzity v Brně. V tomto pokusu bylo hlavním cílem posoudit vzájemné účinky mezi minerálními hnojivy a fermentačním zbytkem z bioplynové stanice (digestátem) na výnos a kvalitu produkce.

Pro tento experiment tak bylo použito celkem 40 Mitscherlichových vegetačních nádob. Do každé z nich bylo naváženo stejné množství zeminy (6 kg) která byla nejprve ručně proseta. Půdním typem zvoleným pro tento pokus byla černozem získaná v brněnské lokalitě Černovické terasy. V tab. 5 jsou uvedeny agrochemické vlastnosti použité zeminy včetně slovních komentářů jednotlivých hodnot či obsahů.

**Tabulka 5 Agrochemické vlastnosti půdy před založením pokusu (MEHLICH III)**

pH/CaCl <sub>2</sub>	mg/kg			
	P	K	Ca	Mg
<b>7,6</b>	49	166	12111	342
<b>zásaditá</b>	nízký	vyhovující	velmi vysoký	dobrý

Celkový projekt IGA zahrnoval celkem 9 variant hnojení a jednu nehnojenou kontrolní variantu. S ohledem na rozsah projektu (experimentů) byly do této diplomové práce zařazeny pouze 4 vybrané varianty viz tab. 6, přičemž každá varianta zahrnovala 4 opakování (nádoby). Aplikace všech hnojiv včetně digestátu proběhla 28. 4. 2015 formou zálivky, která byla důkladně promíchána s celkovým množstvím zeminy v nádobách.

**Tabulka 6 Varianty pokusu**

Varianta č.	Označení	Dávka živiny: N-P-K-Mg (g/nádoba)	Hnojivo
1.	kontrola	0	-
2.	N	1,5	močovina
3.	digestát	1,5-0,18-0,69-0,08	digestát
4.	NPKMg	1,5-0,18-0,69-0,08	močovina, P, K, Mg - hnojiva

Pro tento pokus byl použit digestát získaný procesem anaerobní fermentace, jehož hlavními surovinami byly kukuřičná siláž a prasečí kejda. Chemický rozbor stanovil 6,99 % sušiny v digestátu, pH 8,16 a poměr C:N v poměru 4,8: 1, což podle zákona řadí tento digestát mezi hnojiva s rychle uvolnitelným dusíkem. Použitý digestát taktéž splňoval limit rizikových prvků daný vyhláškou č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva. Analýza živin v digestátu je uvedena v tab. 7.

**Tabulka 7 Analýza živin v použitém digestátu**

%	Živiny				
	N	P	K	Ca	Mg
<b>v čerstvé hmotě</b>	0,537	0,087	0,483	0,108	0,051

Výsadba dvou sazenic kedlubny bílé odrůdy Moravia na nádobu proběhla 7 dní po hnojení. Nádoby byly pravidelně zalévány a během vegetace udržovány bez plevelů. Zralé bulvy byly sklizeny dne 29. června 2015 (obr. 11 a 12). Bezprostředně po sklizni byly bulvy zbaveny listí a následně váženy. Kromě hmotnosti byla porovnávána také koncentrace dusičnanů obsažených v kedlubnách (mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/kg). Ta byla stanovena

z čerstvé hmoty bulvy potenciometricky (iontově selektivními elektrodami - ISE). Obsah kyseliny askorbové byl stanoven v čerstvé hmotě metodou kapilární izotachoforézy. Všechny výsledky byly zpracovány statisticky pomocí analýzy rozptylu s následným testováním dle Scheffeho ( $P=95\%$ ).



Obrázek 11 Vlevo kedlubny s listy těsně před sklizní (foto: vlastní)



Obrázek 12 Vpravo kedlubny bez listí během sklizně (foto: vlastní)

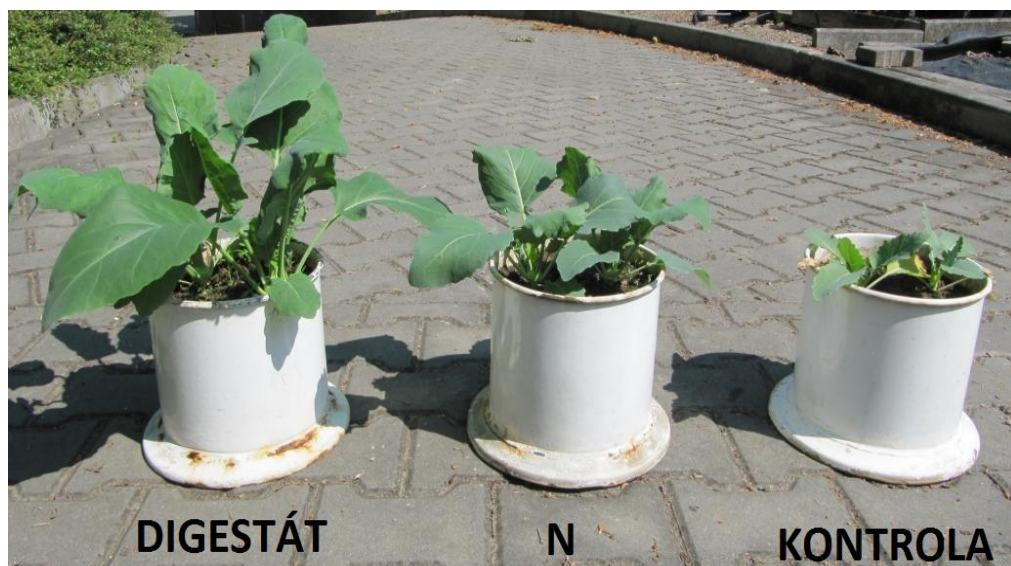
## 4.2 Výsledky a diskuze

### 4.2.1 Výnosové výsledky pokusu

Jedním z charakteristických rysů kedlubnu je vysoká potřeba N. Deficit dusíku v půdě snižuje jeho výnosy, a proto adekvátně zvolená dávka N je v případě kedluben nezbytná. Jak uvádí HLUŠEK a kol. (2002), nedostatek N v půdě může ovlivňovat nejen výnos kedluben, ale také jejich kvalitu. V případě, kdy je N v půdě málo, dochází ke dřevnatění bulv. Naopak, když půda, ze které je kedlubna vyživována obsahuje nadměrné množství N, dochází v bulvách kedluben ke kumulaci nitrátů.

Již během prvních fází růstu byly viditelné rozdíly mezi nehnojenou variantou a variantami hnojenými. Růst nadzemních částí rostlin nehnojené varianty byl o poznání

pomalejší a rostliny měly světlejší barvu (obr. 13). U této varianty byly během sklizně zjištěny také příznaky nedostatku P, což se projevovalo fialovým zbarvením rostliny.



Obrázek 13 Viditelné růstové rozdíly během pokusu (foto: vlastní)

Hmotnost bulv kontrolní nehnojené varianty byla v průměru o 47,4% nižší, než u varianty hnojené pouze N. Tato skutečnost dokazuje, jak je N důležitý pro výši produkce. Nicméně v případě bulv hnojených digestátem a NPKMg je hmotnost jednotlivých bulv průkazně vyšší i oproti variantě hnojené pouze N. Bulvy hnojené digestátem mají větší hmotnost o 12,5 % a v případě varianty hnojené NPKMg o 15,2 %. Byl tedy patrný synergický efekt dalších živin (zejména P, K, Mg) na výnos při hnojení digestátem a NPKMg oproti variantě pouze hnojené dusíkem. Podobné výnosové výsledky uvádí ve své práci také LOŠÁK a kol. (2012), kteří sledovali výtěžek z kedluben odrůdy Segura F1. Pozitivní účinky hnojení digestátem zaznamenal také STINNER a kol. (2008), kteří zkoumali tři různé typy digestátu na výnos pšenice. Účinky digestátu při hnojení ozimé pšenice a ozimé řepky zkoumali také CIGÁNEK a kol. (2010). Při hnojení digestátem zaznamenali navýšení výnosu zrna pšenice o 30,0-63,9% a výnos semen řepky o 38,5-57,7% ve srovnání s nehnojenou variantou.

**Tabulka 8 Vliv digestátu a minerálních hnojiv na váhu bulvy kedlubny**

Varianta č.	Označení	Hmotnost 1 bulvy	
		g	rel. %
1.	kontrola	69 a	52,6
2.	N	131 b	100,0
3.	digestát	147 c	112,2
4.	NPKMg	151 c	115,2

Rozdílná písmena (a, b, c) ve sloupcích značí statist. průkazné rozdíly mezi variantami.

#### 4.2.2 Kvalitativní výsledky pokusu

Vitamín C, včetně kyseliny askorbové a dehydroaskorbové, je pro člověka jedním z nejdůležitějších vitamínů, jelikož má v lidském těle řadu biologických funkcí. Jedním z jeho největších zdrojů je zelenina. Obsah vitamínu C v zelenině však ovlivňuje více faktorů, jako jsou například odrůdové rozdíly, klimatické podmínky během vegetace, zralost zeleniny, způsob sklizně a posklizňová manipulace se zeleninou (LEE, KADER, 2000). Výsledky experimentů věnované působení hnojiv na obsah vitamínu C se liší. Zatímco pokus SMATANOVÉ a kol. (2004) prokázal snížení vitamínu C ve špenátu z 57,5 na 51,9 mg/kg při vyšších dávkách dusíku, pokus NILSSONA (1980) naopak prokázal, že hnojení dusíkem neovlivňuje obsah vitamínu C ve kvěťáku.

Tab. 9 ukazuje obsah vitamínu C v bulvách kedluben. Mezi všemi variantami pokusu nebylo zjištěno průkazných rozdílů v obsahu vitamínu C (311-329 mg/kg). Jiné výsledky však zaznamenali LOŠÁK a kol. (2014), kteří zjistili, že obsah vitamínu C byl nejnižší u kontrolní nehnojené varianty (398 mg/kg) ve srovnání s variantami hnojenými (441-458 mg/kg).

Jak uvádí HLUŠEK a kol. (2002), kedlubny patří mezi rostliny, u kterých výše dusíku ovlivňuje jejich výnos, ale také může zvyšovat obsah nežádoucích nitrátů (dusičnanů) v bulvách. Je proto důležité poskytovat rostlině dusík také s ohledem na její růstové fáze. I když jsou kedlubny například oproti brokolici méně náchylné na akumulaci nitrátů, při nedostatku dusíku brzy stárnou a dřevnatí.

V našem pokusu byl obsah dusičnanů nejnižší v případě kontrolní nehnojené varianty (163 mg/kg) viz tab. 9, což je logické a očekávatelné. I přes nárůst dusičnanů měla varianta hnojená digestátem jejich druhý nejmenší obsah (509 mg/kg). Stejně výsledky zaznamenali LOŠÁK a kol. (2012) při svém pokusu s kedlubnou odrůdy Segura F1. Důvodem je pravděpodobně skutečnost, že digestát obsahuje velký podíl organického dusíku (25-50 %), který podléhá mineralizaci (nitrifikaci) až po uplynutí určité doby (KIRCHMANN, WITTER, 1992). Vzhledem ke krátkému vegetačnímu období kedluben (cca. 7 týdnů), byla pouze část organicky vázaného dusíku mineralizována. Dusík v digestátu tak byl pro rostliny dostatečný pro tvorbu výnosu a zároveň nezvyšoval obsah dusičnanů v bulvách. Největší obsah dusičnanů byl zjištěn v případě variant 2 a 4 hnojených dusíkem ve formě močoviny, u kterých bylo naměřeno dvojnásobné množství dusičnanů oproti variantě hnojené digestátem (cca. 960 mg / kg). Dusík obsažený v průmyslovém (minerálním) hnojivu močovina byl pro rostliny rychle přijatelný, což se odrazilo i na nárůstu obsahu nežádoucích nitrátů.

**Tabulka 9** Vliv digestátu a minerálních hnojiv na množství vitamínu C a nitrátů v bulvě kedlubny

Varianta č.	Označení	Obsah vitamínu C		Obsah (nežádoucích) nitrátů	
		mg/kg	rel. %	mg/kg č. h.	rel. %
1.	kontrola	311 a	95,7	163 a	16,9
2.	N	325a	100	964 c	100
3.	digestát	329a	101,2	509 b	52,8
4.	NPKMg	317 a	97,5	959 c	99,5

Rozdílná písmena (a, b, c) ve sloupcích značí průkazné rozdíly mezi variantami.

### 4.3 Shrnutí pokusu

Digestát z bioplynové stanice (jako organické hnojivo) vykázal srovnatelné nebo lepší výnosové a kvalitativní parametry při hnojení kedluben oproti aplikaci minerálních hnojiv. Proto jej můžeme doporučit ke hnojení tohoto druhu zeleniny před výsadbou. Jeho používání v souladu s legislativními opatřeními a zásadami dobré zemědělské



praxe znamená pro zemědělce také nemalé finanční úspory z hlediska nákupu minerálních hnojiv.

## 5 Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo vypracování literární rešerše zabývající se podrobně problematikou obnovitelných zdrojů energie s důrazem na rozvoj bioplynových stanic v České republice v posledních letech.

Bioplynové stanice jsou zařízení založená na využívání procesu anaerobní fermentace, což je proces rozkladu přírodních látek některými skupinami mikroorganismů. V současné době má Česká republika přibližně 554 bioplynových stanic. Nejčastěji využívaným typem jsou zemědělské bioplynové stanice, ve kterých bývá zpracovávána nejčastěji statková hnojiva a cíleně pěstované plodiny (kukuřice). K velkému nárůstu bioplynových stanic došlo v České republice zejména po vstupu do EU, avšak v posledních letech dochází k jejich útlumu. Může za to především omezení podpory pro výstavbu nových zařízení tohoto typu a také nejasná situace ohledně podpory provozní. Podpora státu a EU je tak spíše směřována na stávající zařízení, které mohou využít nabízené finanční prostředky především k modernizaci svých zařízení.

Hlavním produktem procesu anaerobní fermentace není přímo elektrická energie, ale bioplyn. Tato plynná směs se skládá především z metanu a jeho spalováním v kogenerační jednotce bioplynové stanice mohou vznikat zmíněná elektrická energie a odpadní teplo, které je také možno dále využívat. Po vyčištění na kvalitu biometanu může být dále distribuován do rozvodné sítě plynu.

Vedle bioplynu je sekundárním produktem anaerobní fermentace fermentační zbytek nazývaný digestát. Ten bývá tvořen nerozložitelnými zbytky organické hmoty a odumřelou bakteriální mikroflórou z procesu anaerobní fermentace. Obsahuje vysoké množství snadno přístupného dusíku a dalších makro- a mikroživin. Bývá proto využíván v zemědělství ke hnojení různých plodin. Pro zemědělce představuje použití digestátu finanční úsporu při nákupu hnojiv. Nejčastěji nachází využití při hnojení polních plodin, jako jsou kukuřice, brambory apod. Omezené zkušenosti s jeho použitím jsou v případě zeleniny. A právě na tuto oblast byla zaměřena praktická část této práce, ve které byly prezentovány vybrané výsledky řešeného projektu IGA FRRMS prakticky zaměřeného na využití digestátu při hnojení kedluben. Digestát z bioplynové stanice (jako organické hnojivo) vykázal srovnatelné nebo lepší výnosové a kvalitativní parametry při hnojení kedluben oproti aplikaci minerálních hnojiv. Proto

jej můžeme doporučit ke hnojení tohoto druhu zeleniny před výsadbou. Při aplikaci digestátu je důležité si uvědomit i jeho slabou stránku a tou je jeho nízký obsah lehce rozložitelných organických látek nezbytných pro procesy mineralizace a humifikace v půdě. Pro udržení úrodnosti půdy je proto nezbytné pravidelně dodávat tyto látky do půdy například zaorávkou hnoje, kompostu, zeleného hnojení, posklizňových zbytků apod.

I přes určité problémy, které jsou s provozem některých bioplynových stanic spojeny, považuji jejich fungování za velmi přínosné. Správně fungující bioplynová stanice může vedle elektrické energie přinášet některá pozitiva také pro region. Mezi tyto přínosy můžeme zařadit zpracování různorodých odpadních materiálů z okolí, vytvoření nových pracovních míst či vzájemnou spolupráci bioplynové stanice s místními zemědělci. Během celoročního provozu produkuje bioplynová stanice také velké množství odpadního tepla, jehož využití nebyla doposud věnována taková pozornost, jakou by dle mého zasloužilo. V zařízeních, která ho využívají, bývá nejčastěji odváděno k vytápění přilehlých objektů, jako jsou například administrativní budovy, stáje apod. Domnívám se, že s nejasnou provozní podporou obnovitelných zdrojů budou provozovatelé těchto zařízení nuceni hledat i jiný způsob příjmu, než jen z prodeje elektrické energie. Dle mého názoru je tedy budoucnost bioplynových stanic v efektivním využívání odpadního tepla. Vznikat by tak mohly projekty, pro jejichž provoz je teplo velmi důležité. Už dnes tak můžeme najít některé bioplynové stanice, vedle kterých stojí skleníky, fóliovníky či sušárny, jimž odpadní teplo snižuje velkou měrou provozní náklady.

## 6 Literatura

**BENDA, Vítězslav.** *Obnovitelné zdroje energie*. 1. vyd. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.

**BECHNÍK, Bronislav.** *Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti*. *TZB-info.cz* [online]. 2011-09-26 [cit. 2016-03-27]. Dostupné z WWW: <<http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltackych-panelu-na-konci-zivotnosti>>.

**BIOPLYN CS.** *Bioplynová stanice Pleše* [online]. © 2008 [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: [http://www.bioplynscs.cz/bioplynova\\_stanice\\_plese](http://www.bioplynscs.cz/bioplynova_stanice_plese)

**BIOPLYNOVÉ STANICE - ENVITON.** *Přínosy bioplynových stanic* [online]. © 2008 [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/pro-obec-a-obcany>

**BOSCH, J., JOHNSON, F. X., CLÉMENT, E., MERTENS, R., ROUBANIS, N.,** (2009). *Panorama of energy*. Energy statistics to support EU policies and solutions. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

**CENEK, Miroslav.** *Obnovitelné zdroje energie*. 2. upravené a doplněné vydání. Praha: FCC Public, 2001. ISBN 80-901985-8-9.

**CIGÁNEK, K., LOŠÁK, T., SZOSTKOVÁ, M., ZATLOUKALOVÁ, A., PAVLÍKOVÁ, D., VÍTĚZ, T., FRYČ, J., DOSTÁL, J.** 2010. *Ověření účinnosti hnojení digestáty z bioplynových stanic na výnos ozimé řepky a ozimé pšenice a změny vybraných agrochemických vlastností půdy*. *Agrochémia : Agrochemistry*. sv. XIV. (50), č. 3, s. 16-21. ISSN 1335-2415.

**CZECHINVEST.** *Obnovitelné zdroje energie – Výzva I*. [online]. 2015 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://www.czechinvest.org/obnovitelne-zdroje-energie-vyzva-i>

**ČERMÁKOVÁ, Jiřina, TENKRÁT, Daniel:** *Efektivní zhodnocení bioplynu*. *Biom.cz* [online]. 2011-08-22 [cit. 2016-03-21]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-zhodnoceni-bioplynu>>. ISSN: 1801-2655.

**ČESKÁ BIOPLYNOVÁ ASOCIACE.** *Mapa bioplynových stanic v ČR* [online]. CZBA, 2014 [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-panic/>

**ČESKÁ SPOLEČNOST PRO VĚTRNOU ENERGII.** *Větrná energie v kostce.* [online]. 2015 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: <http://csve.cz/pdf/cz/CSVE-brozura-2015-v07-preview.pdf>

**DOHÁNYOS, Michal:** *Anaerobní reaktor není černou skřínkou - teoretické základy anaerobní fermentace.* *Biom.cz* [online]. 2008-11-17 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-reaktor-neni-cernou-skrinkou-teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>. ISSN: 1801-2655.

**DOSTÁL, J., RICHTER, R.,** 2008: *Porovnání kvality kejdy s digestátem z bioplynových stanic a jejich využití ke hnojení zemědělských plodin.* *Kukuřice v praxi 2008-* sborník z mezinárodní konference. Brno: Mendelova univerzita v Brně a KWS Osiva, s.r.o., 63 s.

**DOSTÁL, Jiří, Tomáš LOŠÁK a Jaroslav HLUŠEK.** *Digestát - mýty a skutečnost ve vztahu k půdní úrodnosti: Kukuřice v praxi 2015-* sborník z mezinárodní konference. Brno: Mendelova univerzita v Brně a KWS Osiva, s.r.o., 2015. ISBN 978-80-7509-179-6.

**ĎURICA, D., SUK, M., CIPRYS, V.,** *Energetické zdroje včera, dnes a zítra.* Vyd. 1. Brno: Moravské zemské muzeum, 2010. ISBN 978-80-7028-374-5.

**DVOŘÁČEK, T., HABART, J.:** *Využití travní senáže v bioplynových stanicích – příklady z Německa.* *Biom.cz* [online]. 2008-12-10 [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-travni-senaze-v-bioplynovych-panicich-priklady-z-nemecka>. ISSN: 1801-2655.

**ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD (ERÚ).** *Energetický regulační věstník.* Prosinec 2015, Jihlava, 15(10) [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/-/cenove-rozhodnuti-c-9-20-1>

**FUCHS, J. G., BERNER, A., MAYER, J., SMIDT, E., SCHLEISS, K.,** 2008: *Influence of compost and digestates on plant growth and health: potentials and limits.* Proceedings of the international congress CODIS 2008. Solothurn, Switzerland, 310 s.

**GERARDI, M. H.,** 2003: *The microbiology of anaerobic digesters.* Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 192 s.

**HASELHUHN, Ralf.** *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu.* 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.

**HLUŠEK, Jaroslav, Rostislav RICHTER a Pavel RYANT.** *Výživa a hnojení zahradních plodin.* Praha: Zemědělec, 2002. ISBN 80-902413-5-2.

**CHALUPA, Š., HANSLIAN, D.** *Analýza větrné energetiky v ČR.* Česká společnost pro větrnou energii [online]. 2015 [cit. 2016-03-03]. Dostupné z: [http://www.csve.cz/img/wysiwyg/file/KomoraOZE\\_analyza-potencial-OZE\\_dilci-VTE.pdf](http://www.csve.cz/img/wysiwyg/file/KomoraOZE_analyza-potencial-OZE_dilci-VTE.pdf)

**KAJAN, Miroslav:** *Bioplynová stanice v Třeboni.* *Biom.cz* [online]. 2009-07-19 [cit. 2016-03-27]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynova-stanice-trebon>>. ISSN: 1801-2655.

**KAPUINEN, P., REGINA, K.,** 2010: *The effect of anaerobic digestion on fertilizing properties of pig slurry.* Proceedings of the 14th Ramiran International Conference. Lisboa, Portugal. Online [cit. 2015-03-28]. Dostupné z: [http://www.ramiran.net/index.php?page=14\\_ramiran](http://www.ramiran.net/index.php?page=14_ramiran)

**KARMIŠIN, A.** *Vítr a jeho využití.* Praha: Technicko-vědecké vydavatelství, 1952, 73 p

**KASAL, Pavel, Jaroslav ČEPL a Bohumil VOKÁL.** *Hnojení brambor.* 2. vyd., aktualiz. Havlíčkův Brod: Výzkumný ústav bramborářský, 2010. Praktické informace. ISBN 978-80-86940-24-3.

**KIRCHMANN, H, WITTER, E.** *Composition of Fresh Aerobic and Anaerobic Farm Animal Dungs,* *Bioresource Technology*, Vol. 40, No. 2, pp 137-142, 1992.

**KLOZ, Martin.** *Využívání obnovitelných zdrojů energie: právní předpisy s komentářem.* Praha: Linde, 2007. 511 s. ISBN 978-80-7201-670-9.

**KONÍČEK, Josef.** *Právní úprava výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů.* Brno, 2011. Diplomová práce. Masarykova univerzita v Brně. Právnická fakulta. Vedoucí práce Radim POLČÁK

**KOUTNÝ, R., 2010:** *Termické využití separátu po anaerobní fermentaci biologicky rozložitelných odpadů.* *Biom.cz* online [cit. 2011-04-26]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/termicke-vyuziti-separatu-po-anaerobni-fermentaci-biologicky-rozlozitelnych-odpadu>

**KRATOCHVÍLOVÁ, Z., HABART, J., SLADKÝ, V., JELÍNEK, F., ROSENBERG, T., STUPAVSKÝ, V., DVOŘÁČEK, T.,** *Průvodce výrobou a využitím bioplynu.* Praha: CZ Biom, 2009. ISBN 978-80-903777-5-2.

**LEE, S. K., KADER, A. A.,** *Preharvest and Postharvest Factors influencing Vitamin C Content of Horticultural Crops,* *Postharvest Biology and Technology,* Vol. 20, No. 3, pp 207-220, 2000.

**LOŠÁK, TOMÁŠ.** *Ústní sdělení.* Fakulta regionálního rozvoje a mezinárodních studií. Mendelova univerzita v Brně.(2016-04-05).

**LOŠÁK, T., HLUŠEK, J., ZATLOUKALOVÁ, A., MUSILOVÁ, L., VÍTĚZOVÁ, M., ŠKARPA, P., ZLÁMALOVÁ, T., FRYČ, J., VÍTĚZ, T., MAREČEK, J., MARTENSSON, A.** *Digestate from Biogas Plants is an Attractive Alternative to Mineral Fertilisation of Kohlrabi.* *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems.* 2014. sv. 2, č. 4, s. 309-318. ISSN 1848-9257.

**LOŠÁK, T., MUSILOVÁ, L., ZATLOUKALOVÁ, A., SZOSTKOVÁ, M., HLUŠEK, J., FRYČ, J., VÍTĚZ, T., HAITL, M., BENNEWITZ, E., MARTENSSON, A.,** *Digestate is equal or a better alternative to mineral fertilization of kohlrabi.* *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis.* 2012. sv. LX, č. 1, s. 91-96. ISSN 1211-8516.

**LOŠÁK, T., ZATLOUKALOVÁ, A., SZOSTKOVÁ, M., HLUŠEK, J., FRYČ, J., VÍTEŽ, T.** *Comparison of the effectiveness of digestate and mineral fertilisers on yields and quality of kohlrabi (*Brassica oleracea*, L.).* Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2011. sv. LIX, č. 3, s. 117-122. ISSN 1211-8516.

**LUKEHURST, C. T., FROST, P., AL SEADI, T.,** 2010: *Utilisation of digestate from biogas plants as biofertiliser.* IEA Bioenergy, 22 s.

**MARCATO, C. E., PINELLI, E., POUECH, P., WINTERTON, P., GUIRESSE, M.,** 2008: *Particle size and metal distributions in anaerobically digested pig slurry,* Bioresource Technology, [online]. 7., roč. 99, č. 7, s. 2340-2348, [vid. 21. března 2016]. ISSN 0960-8524, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2007.05.013>.

**MAREČEK, Jan.** *Environmentální techniky - obnovitelné zdroje energie z biomasy: odborný kurz.* Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013. ISBN 978-80-7375-887-5.

**MASTNÝ, Petr.** *Obnovitelné zdroje elektrické energie.* Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.

**MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU ČR.** *Aktualizace státní energetické koncepce,* prosinec 2014, Praha. [cit. 2016-02-29]. Dostupné: <http://www.mpo.cz/dokument158059.html>

**MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ.** *Metodický pokyn k podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu,* únor 2014, Praha. [cit. 2016-03-29]. Dostupné online na [http://www.mzp.cz/cz/schvalovani\\_bioplynovych\\_stanic](http://www.mzp.cz/cz/schvalovani_bioplynovych_stanic)

**MOTLÍK, Jan.** *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice.* Praha: ČEZ, 2007. ISBN 978-80-239-8823-9.

**MUSIL, Petr.** *Globální energetický problém a hospodářská politika se zaměřením na obnovitelné zdroje.* 1. vyd. Praha: C. H. Beck, 2009. 204 s. ISBN 978-80-7400-112- 3.



**NILSSON T.**, *The influence of Soil Type, Nitrogen and Irrigation on Yield, Quality And Chemical Composition of Cauliflower*, Swedish Journal of Agricultural Research, Vol. 10, No. 2, pp 65-75, 1980.

**OBROUČKA, K., KUČA R., MICHNOVÁ, M.**, 2010: *Využití problematických organických odpadů k anaerobní digesti z hlediska vlastností digestátu*. Waste Forum [online] s. 68-76 [cit. 2016-03-21]. ISSN 12127779.

**OEKOBIT-BIOGAS**. Separace a úprava digestátu [online]. © 2008 [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: <http://www.oekobit-biogas.com/cz/separace-a-uprava-digestatu.html>

**OENERGETICE.CZ**. ERÚ vypsal podporu pro zbylé stávající podporované zdroje [online]. 2015 [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/eru-vypsal-podporu-pro-stavajici-podporovane-zdroje-energie/>

**PASTOREK, Z., KÁRA, J., JEVIČ, P.**, 2004: *Biomasa - obnovitelný zdroj energie*, Praha: FCC Public, 2004, ISBN: 80-86543-06-5, s. 56

**POSPÍŠIL, L.**: *Výzkum „suché“ anaerobní fermentace různých druhů biomasy za účelem výroby bioplynu*. Praha: CZ Biom, 2011. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyzkum-suche-anaerobni-fermentace-ruznych-druhu-biomasy-za-ucelem-vyroby-bioplynu>

**QUASCHNING, Volker**. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.

**REINHART, D. R.**, 1993, *A review of recent studies on the sources of hazardous compound emitted from solid waste landfills. A U. S. experience – Waste Management and Research* (11): 257-268, ISSN: 1096-3669.

**ROZEHNALOVÁ, Eva**. *Využití biologicky rozložitelného odpadu*. Brno, 2006. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Agronomická fakulta. Vedoucí práce Bořivoj GRODA.

**ROZEHNALOVÁ, Eva.** *Analýza bioplynových transformací.* Brno, 2011. Disertační práce. Mendelova univerzita v Brně. Agronomická fakulta. Vedoucí práce Bořivoj GRODA.

**SARPERI, L., A. SURBRENAT, A. KERIHUEL a F. CHAZARENC,** 2014. *The use of an industrial by-product as a sorbent to remove CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S from biogas.* Journal of Environmental Chemical Engineering [online]. 6., roč. 2, č. 2, s. 1207–1213 [vid. 21. březen 2016]. ISSN 22133437. Dostupné z: doi:10.1016/j.jece.2014.05.002

**SEQUENS, Edvard a Petr HOLUB.** *Větrné elektrárny: mýty a fakta.* České Budějovice: Sdružení Calla, 2004. ISBN 80-86834-09-3.

**SCHULZ, Heinz a Barbara EDER.** *Bioplyn v praxi: teorie - projektování - stavba zařízení - příklady.* 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2004. ISBN 80-86167-21-6.

**SMATANOVÁ M., RICHTER R., HLUŠEK J.,** 2004. *Spinach and pepper response to nitrogen and sulphur fertilization.* Plant, Soil and Environment, 50: 303–308.

**STINNER, W., MÖLLER, K., LEITHOLD, G.,** Effects of biogas digestion of clover/grass-leys, cover crops and crop residues on nitrogen cycle and crop yield in organic stockless farming systems, European Journal of Agronomy, Volume 29, Issues 2–3, August 2008, Pages 125-134, ISSN 1161-0301.

**ŠAFARÍK, Miroslav:** *Bioplynové stanice – podmínky a možnosti využití tepla.* Biom.cz [online]. 2012-03-13 [cit. 2016-03-26]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stanice-podminky-a-moznosti-vyuziti-tepla>>. ISSN: 1801-2655.

**TAMBONE, F., GENEVINI, P., D'IMPORZANO, G., ADANI, F.,** 2009: *Assessing amendment properties of digestate by studying the organic matter composition and the degree of biological stability during the anaerobic digestion of the organic fraction of MSW.* Bioresource Technology, 100 (12): 3140–3142.

**TRÁVNÍČEK, P., KARAFIÁT, Z.,** *Kogenerace pomocí plynových spalovacích motorů. Biom.cz* [online]. 2009-04-15 [cit. 2016-03-27]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kogenerace-pomoci-plynovych-spalovacich-motoru>>. ISSN: 1801-2655.

**TRÁVNÍČEK, Petr; KOTEK, Luboš; JUNGA, Petr.** *Bezpečnost bioplynových stanic. Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online], 2015, roč. 8, č. 4. Dostupný z WWW: <<http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-04-2015/bezpecnost-bioplynovych-stanic.html>>. ISSN 1803-3687.

**UŠŤAK, Sergej a Jaroslav VÁŇA.** *Bioplynová fermentace biomasy a biologicky rozložitelných odpadů*. Vyd. 2. Praha: CZ Biom, 2006. ISBN 80-86555-78-X.

**UUSITALO, V., SOUKKA, R., HORTTANAINEN, M., NISKANEN, A., HAVUKAINEN, J.,** *Economics and greenhouse gas balance of biogas use systems in the Finnish transportation sector, Renewable Energy*, Volume 51, March 2013, Pages 132-140, ISSN 0960-1481,

**VAISHAR, A., ŠŤASTNÁ, M.,** *Jihomoravský venkov jako prostor pro výrobu energie z obnovitelných zdrojů*. Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014. ISBN 978-80-7509-112-3.

**VÍTĚZ, T., GERŠL, M., MAREČEK, J., KUDĚLKA, J., KRČÁLOVÁ, E.,** *Mineralogicko-chemická charakteristika fermentačních zbytků při výrobě bioplynu a možnosti jejich využití pro zlepšení vlastností půd*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013. Dokument online [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/325087/MZE\\_fermentacni\\_zbytek\\_final\\_2013.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/325087/MZE_fermentacni_zbytek_final_2013.pdf)

**VLČEK, Tomáš a Filip ČERNOCH.** *Energetický sektor České republiky*. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 2012. ISBN 978-80-210-5982-5.

**ZELENÝ BONUS.** *Zelený bonus nebo výkupní cena?.* [on-line] 2015 [cit. 2016-03-30] Dostupné z: <http://www.zelenybonus.eu/statni-podpora/>

## 7 Seznam tabulek, obrázků a grafů

### Seznam tabulek

Tabulka 1 Složení bioplynu .....	24
Tabulka 2 Maximální přípustné obsahy rizikových prvků v digestátu.....	27
Tabulka 3 Základní sazba ročního zeleného bonusu - KVET do 5 MWe .....	34
Tabulka 4 Doplnková sazba ročního zeleného bonusu za veškerou elektřinu z KVET .	34
Tabulka 5 Agrochemické vlastnosti půdy před založením pokusu .....	43
Tabulka 6 Varianty pokusu.....	44
Tabulka 7 Analýza živin v použitém digestátu.....	44
Tabulka 8 Vliv digestátu a minerálních hnojiv na váhu bulvy kedlubny .....	47
Tabulka 9 Vliv digestátu a min. hnojiv na množství vit. C a nitrátů v bulvě kedlubny .	48

### Seznam obrázků

Obrázek 1 Čtyři fáze procesu fermentace.....	21
Obrázek 2 Způsoby nakládání s fermentačním zbytkem.....	28
Obrázek 3 Vlevo tekutý digestát - fugát .....	30
Obrázek 4 Vpravo hnojení digestátem.....	30
Obrázek 5 Schéma jednotlivých technologických prvků BPP .....	37
Obrázek 6 Plnění vstupního dávkovače BPS Pleše .....	38
Obrázek 7 Pohled na paralelně provozované fermentory.....	39
Obrázek 8 Vlevo dvoumembránový plynorem u BPS v Třeboni .....	39
Obrázek 9 Vpravo kogenerační jednotka.....	39
Obrázek 10 Separátor na úpravu digestátu .....	40
Obrázek 11 Vlevo kedlubny s listy těsně před sklizní.....	45
Obrázek 12 Vpravo kedlubny bez listí během sklizně .....	45
Obrázek 13 Viditelné růstové rozdíly během pokusu.....	46

### Seznam grafů

Graf 1 Vývoj a struktura OZE na primárních energetických zdrojích .....	11
Graf 2 Rozdělení jednotlivých druhů BPS .....	36