**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**

# Možnosti využití vedlejších produktů provozu bioplynových stanic v ekologickém zemědělství

**Bakalářská práce**

**Václav Wanča**

**Ekologické zemědělství**

**Ing. Pavel Švehla, Ph.D.**

**© 2021 ČZU v Praze**

**Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Možnosti využití vedlejších produktů provozu bioplynových stanic v ekologickém zemědělství" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 3. 5. 2021 _____

**Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Pavlu Švehlovi, Ph.D. za rady, pomoc a trpělivost při vedení této bakalářské práce.

Vypracování předkládané práce bylo součástí aktivit spojených s řešením projektu podporovaného MZe ČR v rámci NAZV, registrační číslo projektu QK1710176. Pracoviště KAVR ČZU děkuje poskytovateli dotace za finanční podporu výzkumu.

# Možnosti využití vedlejších produktů provozu bioplynových stanic v ekologickém zemědělství

**Souhrn**

Zpracovaná práce se věnuje bioplynové stanici a využití vedlejších produktů z anaerobní fermentace v ekologickém zemědělství. Úvod shrnuje význam ekologického zemědělství a jeho spojitost s bioplynovou stanicí. Dále je popsána anaerobní fermentace a její dílčí procesy. Částem bioplynové stanice a její konstrukce je věnována samostatná kapitola včetně přehledného schématu. Pro činnost bioplynové stanice v zemědělství jsou nejprve uvedeny vstupní materiály, které pochází nejen z živočišné výroby v podobě statkových hnojiv, ale i z rostlinné výroby, kam spadají druhy cíleně pěstovaných plodin pro rozšíření osevních postupů a různorodosti krajiny. Důležitá část práce se zabývá vedlejším výstupním produktem ve formě fermentačního zbytku, obzvláště jeho charakteristikou, složením a popisem jednotlivých frakcí. Hlavní kapitola v první řadě zahrnuje využití tekuté složky fermentačního zbytku, jakožto kvalitního organického hnojiva a jeho správnou aplikaci, přičemž je popisován výběr vhodné techniky pro převoz a následnou aplikaci na zemědělskou půdu. Zahrnuje také využití tuhé složky fermentačního zbytku jako hnojiva, ale najde i své uplatnění v části živočišné výroby k podestýlání stájových prostor. Může také procházet dalšími úpravami k různým účelům využití.

**Klíčová slova:** bioplynová stanice, ekologické zemědělství, fermentační zbytek, živiny

# The Use of the By-products of Biogas Plants Operation in Organic Agriculture

**Summary**

The bachelor thesis describes a biogas plant, its technology and processes and the use of anaerobic fermentation by-products in organic farming. The introduction summarizes the importance of organic farming and its connection with the biogas plant while anaerobic fermentation and its partial processes are described further on. A separate chapter is dedicated to a technical description of the plant and all of its components including a simple scheme. Materials required for the function of the biogas plant are mentioned in the next section of the thesis. It includes materials from animal production in the form of manure as well as materials from crop production, which can be represented by crops purposefully grown to expand cropping practices and increase landscape diversity. An important part of this work deals with the by-product in the form of digestate, especially its distribution, characteristics, composition and description of individual parts. The main chapter primarily describes the use of the liquid component of the digestate as a valuable organic fertilizer and its correct application, while the selection of a suitable technique for transportation and subsequent application is described. It also includes the use of the solid component of the digestate as a fertilizer, but will also find use in animal production for bedding stables. It can also undergo other modifications for various other uses.

**Keywords**: biogas plant, organic agriculture, digestate, nutrients

# Obsah


**1 Úvod ..... 9**

**2 Cíl práce ..... 10**

**3 Bioplynová stanice ..... 11**

**4 Tvorba bioplynu ..... 12**

**4.1 Hydrolýza ..... 12**

**4.2 Acidogeneze a acetogeneze ..... 13**

**4.3 Metanogeneze ..... 13**

**4.4 Faktory anaerobní fermentace ..... 13**

**5 Konstrukce bioplynové stanice ..... 15**

**5.1 Přípravné nádrže a plnění fermentoru ..... 15**

**5.2 Fermentor ..... 15**

5.2.1 Plášť fermentoru ..... 16

5.2.2 Tepelná izolace ..... 16

5.2.3 Vnější plášť ..... 16

5.2.4 Krycí fólie ..... 17

5.2.5 Nátěry a těsnění ..... 17

**5.3 Skladovací nádrž ..... 17**

**5.4 Kogenerační jednotka ..... 17**

**5.5 Ostatní části konstrukce ..... 17**

**6 Vstupní materiály ..... 18**

**6.1 Statková hnojiva ..... 18**

6.1.1 Kejda ..... 19

6.1.2 Chlévská mrva ..... 19

**6.2 Cíleně pěstované plodiny ..... 19**

6.2.1 Polní energetické plodiny ..... 20

6.2.2 Kukuřice ..... 21

6.2.3 Travní porost ..... 22

**6.3 Kofermentace ..... 22**

**7 Výstupní vedlejší produkty ..... 23**

**7.1 Digestát ..... 23**

**7.2 Fugát ..... 24**

**7.3 Separát ..... 24**

**8 Využití vedlejších produktů ..... 24**

**8.1 Využití digestátu ..... 25**

**8.2 Využití fugátu ..... 26**

**8.3 Způsoby aplikace ..... 26**
**8.4 Využití separátu ..... 27**
**9 Závěr ..... 29**
**10 Literatura ..... 30**

# 1 Úvod

Ekologické zemědělství je jednou z možností, jak kvalitně produkovat potraviny pro naši společnost, přičemž dbá na ochranu, udržování a tvorbu krajiny. K ekologickému zemědělství patří také chápání přirozených koloběhů a pochodů v přírodě, samozřejmě i racionální přístup k samotnému zemědělství. Jde i o částečný návrat ke kořenům, jelikož dříve lidé hospodařili v souladu s přírodou a jejími zákonitostmi. Směr konvenčního zemědělství se zaměřuje výhradně na maximalizaci výnosů, tržeb a velkých vstupů do půdy. Výsledkem toho jsou velká monokulturní pole negativně působící na biodiverzitu a půdní úrodnost. Ekologické zemědělství tak usiluje o různorodou krajinu se zdravou půdou, četnou biodiverzitou a trvale udržitelnou pro následující generace za cenu vyšší pracovní náročnosti a dalších nákladů.

Popularita ekologického zemědělství v poslední době stoupá díky zvyšujícím se počtům ekologicky hospodařících farem, zájmu a vnímání společnosti. Stoupá také poptávka po těchto produktech a zájem o to, jak se tyto produkty vyrábějí nebo pěstují. Ekologické zemědělství má jak v Evropě, tak u nás četné zastoupení, jež se bude snad stále zvyšovat.

Svět postupem času neodmyslitelně provází modernizace ve všech odvětvích. Proto můžeme i v zemědělství využívat technologie, které mohou práci usnadnit, zlepšit přesnost nebo člověka úplně nahradit. Důležité je všechny moderní technologie využívat s rozumem, dodržovat původní myšlenku a nesklouznout opět k maximalizaci výnosů a tržeb, a tak nezatížit krajinu. Jedním z takových zařízení je bioplynová stanice zpracovávající biomasu jako obnovitelný zdroj energie. Pro zemědělce, obzvlášť v ekologickém režimu, by mělo být jasné, že pokud uvažují o zřízení bioplynové stanice na své farmě, měli by mít jasnou představu o zapojení bioplynové stanice do své zemědělské činnosti. Správně řízená bioplynová stanice by tak měla přispívat k udržování lokální krajiny, k chodu podniku, který vhodně nakládá se vzniklými vedlejšími produkty, a také jako ekologický zdroj obnovitelné energie. Opět závisí na racionálním přístupu provozovatele, který by se neměl soustředit pouze na maximalizaci zisků na úkor špatně obhospodařovaných pozemků. Počet bioplynových stanic se stále zvyšuje, a pokud budou řízeny zodpovědně a svědomitě, najdou si své místo v zemědělství.

# 2 Cíl práce

Hlavním cílem práce bude vytvořit literární rešerši na dané téma. Prezentovány budou různé možnosti aplikace vedlejších produktů provozu bioplynových stanic v ekologickém zemědělství. Hlavní pozornost bude přitom věnována využití fermentačního zbytku a jeho separovaných složek v rostlinné výrobě jako zdroje živin. Vyhodnoceno bude využití fermentačního zbytku v konkrétním zemědělském družstvě. Diskutovány budou také možnosti využití tepla produkovaného v rámci provozu bioplynové stanice nejen v areálu daného zemědělského družstva, ale i v dalších objektech.

# 3 Bioplynová stanice

Bioplynová stanice je zařízení zpracovávající bioodpad a další biologicky rozložitelné materiály. Využívá procesu anaerobní fermentace, tedy biologického rozkladu bez přístupu vzduchu, který zajišťují specifické mikroorganismy. Primárním produktem tohoto procesu je bioplyn, který se řadí mezi alternativní zdroj energie (Klinkerová 2009; Lukehurst et al. 2010). Tento jev přirozeně probíhá také v různých lokalitách na Zemi, kdy plyn tvořený převážně metanem uniká do vzduchu, kde se oxiduje na oxid uhličitý a vodu. Rovnovážný cyklus narušuje těžba nerostných surovin i chov dobytka. Metan a oxid uhličitý se podílejí na skleníkovém efektu, ale také metan při své oxidaci spotřebovává ozon, čímž dochází k zeslabování ozonové vrstvy. A proto má svůj význam výroba a využití bioplynu v porovnání se zemním plynem nebo uhlím. Bioplyn je neutrální z pohledu produkce oxidu uhličitého, jelikož vzniklý $CO_2$ je nedílnou součástí koloběhu uhlíku v přírodě a vrací se zpět k rostlinám, a proto se v atmosféře tímto způsobem nezvyšuje, jak ve své knize tvrdí Schulz a Eder (2004). Stoupající zájem o tuto technologii rozhodně úzce souvisí s aktuálními tématy, jako jsou: klimatické změny, spotřeba či náhrada fosilních paliv, obnovitelné zdroje energie nebo otázka udržitelné budoucnosti (Lukehurst et al. 2010; Stürmer et al. 2021).

Použití technologie bioplynové stanice může posloužit v mnoha rozdílných odvětvích. Příkladem jsou obce, města, různé firmy i zemědělci. Tato možnost nabízí řešení, jak odstranit a zároveň využít velké množství organických zbytků. V obcích a městech se jedná o zbytky potravin z restaurací či jídelen, potravinářského průmyslu, ale i z domácností. V tomto případě můžeme zdůraznit domácnosti, kde by většina zbytků jinak skončila v komunálním odpadu. Dále ze zahrad domů i udržovaných městských parků a veřejných míst vzniká bioodpad převážně v podobě posekané trávy, rostlinných zbytků a v podzimních měsících nadmíra opadaného listí (Lukehurst et al. 2010; Šťastná 2013).

Pro zemědělce produkující značné množství organického materiálu nabírá bioplynová stanice stále více na významu, jelikož její výstupy využije pro své vlastní potřeby v hospodářství. Na prvním místě se nachází energie, čímž klesají náklady za nakupovanou energii, nebo v případě příjmu ji vyrábět pro různé potřeby odběratelů (Halberg 2008). Avšak praktických výhod nabývají i takzvané vedlejší produkty. K hlavním výhodám patří eliminace zápachu ze statkových hnojiv, snížení ztrát na živinách, z čehož plyne úspora na budoucím hnojení. Dále také snížení negativního účinku na rostliny při vývozu na louky a pole, lepší homogenita substrátu (Schulz & Eder 2004). O dalších možnostech využití a výhod vedlejších

produktů se nachází více v kapitolách o výstupech z bioplynové stanice a jejich uplatnění v zemědělství.

# 4 Tvorba bioplynu

Samotný proces rozkladu organických látek v anaerobním prostředí, i když má stejný význam, mohou různé zdroje uvádět odlišně. Můžeme se tedy v odborné literatuře setkat s pojmy jako jsou: anaerobní fermentace, metanové kvašení, anaerobní digesce, biogasifikace nebo biometanizace (Barduca et al. 2020).

Bioplyn je produkován při látkové výměně metanogenních mikroorganismů, přičemž tyto mikroorganismy rozkládají organickou hmotu a nesnižují její hnojivé účinky. Přítomnost a působení anaerobních mikroorganismů sahá k jedněm z nejstarších organismů Země, proto je možný tento děj i v daných přírodních podmínkách, v zažívacím traktu živočichů či účelně vyvolán například v bioplynové stanici. Anaerobní fermentace je tedy složitý biochemický proces, který se skládá ze značného množství na sebe navazujících fyzikálních, fyzikálně-chemických a biologických procesů. Celkový průběh můžeme ovlivnit hned několika proměnnými: v podobě teploty prostředí, hodnoty pH, složení vstupních materiálů, zajištěním anaerobního prostředí nebo obezřetností vůči inhibitorům tohoto procesu. Tvorba bioplynu probíhá až v poslední fázi anaerobní fermentace společně s dalšími minoritními plyny a fermentačním zbytkem (Kára et al. 2007; Blumenstein et al. 2016).

Celý proces lze rozdělit do čtyř hlavních fází:

- I. fáze – hydrolýza
- II. fáze – acidogeneze
- III. fáze – acetogeneze
- IV. fáze – metanogeneze

## 4.1 Hydrolýza

Důležitým aspektem pro začátek první fáze je dostatečná vlhkost (nad 50 %) hmotnostního podílu (Kára et al. 2007). Činnost bakterií závisí na přeměně makromolekulárních látek (bílkoviny, tuky, polysacharidy, uhlovodíky apod.) na nízkomolekulární organické látky rozpustné ve vodě (jednoduché cukry, aminokyseliny či mastné kyseliny) pomocí hydrolytických enzymů z vlastní produkce (Schulz & Eder 2004).

## 4.2 Acidogeneze a acetogeneze

Druhá okyselující fáze začíná ihned po hydrolýze. Vstupní materiály pro druhou část procesu jsou výstupní látky z hydrolýzy, u kterých dojde ke štěpení na ještě jednodušší látky jako organické kyseliny, oxid uhličitý, vodík, alkoholy a další (Červená et al. 2014).

Ve třetí fázi následuje přeměna organických kyselin a dalších látek vzniklých v acidogenezi pomocí speciálních mikroorganismů na kyselinu octovou ($CH_3COOH$), vodík ($H_2$) a oxid uhličitý ($CO_2$). Je zde zastoupena i skupina organismů produkující také sulfan nebo dusík (Červená et al. 2014).

## 4.3 Metanogeneze

V poslední fázi tvorby bioplynu se zapojují do procesu metanogenní a hydrogenotrofní mikroorganismy. Metanogenní mikroorganismy rozkládají kyselinu octovou na metan ($CH_4$) a oxid uhličitý (Siegmeier et al. 2015). Rozkládají také další uhlíkaté sloučeniny jako methanol, kyselinu mravenčí nebo oxid uhelnatý (Červená et al. 2014). Hydrogenotrofní mikroorganismy vytvářejí metan z oxidu uhličitého a vodíku. Další kmeny mikroorganismů v této fázi využívají oba způsoby tvorby metanu a působí obojetně (Xu et al. 2021).

## 4.4 Faktory anaerobní fermentace

Proces anaerobní fermentace je určován danými faktory, které se musí dodržet, aby byla zachována kvalita celého průběhu anaerobní fermentace. Kontinuální plnění bioplynové stanice zajišťuje vhodnou rovnováhu mezi rychlostmi jednotlivých fází, protože každá fáze má odlišnou rychlost. Důležité je také to, že všechny procesy probíhají vedle sebe a nejsou nijak od sebe odděleny. Klíčová je proto rychlost poslední metanogenní fáze, která probíhá až pětkrát pomaleji oproti ostatním a je jedním ze základních faktorů ovlivňující dávkování organického materiálu nebo velikost a konstrukce fermentoru. Ovlivňuje také zahájení provozu bioplynové stanice, než po několika týdnech začne 4. fáze metanogeneze (Schulz & Eder 2004).

Pro správný průběh anaerobní fermentace je nutné zajistit vhodné prostředí, a tím splnit všechny podmínky života přítomných mikroorganismů podle Schulz a Eder (2004):

**Vlhké prostředí** – Metanogenní mikroorganismy se množí a pracují při dostatečném obsahu vody v substrátu (minimálně 50 %). Nemohou žít v pevném substrátu jako aerobní bakterie, kvasinky nebo houby.

**Vytvoření anaerobního prostředí –** Metanogenní mikroorganismy pracují pouze v anaerobním prostředí. Pokud je přítomen kyslík při dávkování substrátu, je v první řadě spotřebován aerobními mikroorganismy během první a druhé fáze procesu tvorby bioplynu. Minimální množství kyslíku se dodává přifukováním vzduchu u odsíření, avšak ten nemá negativní účinky.

**Přístup světla –** Světlo není pro mikroorganismy destruktivní, ale může zpomalovat průběh procesu. V uzavřené konstrukci bioplynové stanice by neměl být žádný problém s tímto faktorem. U fermentační nádrže se mohou nacházet malá okénka pro vizuální kontrolu bez negativního účinku.

**Teplota –** Pracovní teplota může být různá podle teplotních rozmezí, které vyhovuje určitým kulturám mikroorganismů. Nejčastěji jsou využívány mikroorganismy v oblasti mezofilních teplot kolem 35 °C. Čím vyšší je teplota, tím je rychlejší rozklad substrátů a vyšší produkce plynu. Avšak při kratší době vyhnívání je nižší obsah metanu.

**Hodnota pH** – Hodnota pH je velmi důležitá. Růst mikroorganismů probíhá v neutrálním až slabě alkalickém prostředí přibližně 6,5-7,5. U kyselých substrátů jako siláž je zapotřebí hodnotu pH zvýšit například vápnem.

**Substrát** – Jako stálý základní substrát je vhodné použít kejdu a chlévskou mrvu. Ty obsahují dobře rozložitelné dusíkaté sloučeniny, minerální látky i stopové prvky. Vhodné přísady pro dosažení vyrovnaného poměru jsou organické zbytky, tráva a další rostlinný odpad, konzervované plodiny a podobně. Substráty nerozpustné ve vodě (sláma, tráva) je důležité rozdrobit nebo rozsekat, aby bylo zabráněno dlouhému vyhnívání a tvorbě kalového stropu. Důležitý je také rovnoměrný přísun substrátu v krátkých intervalech (jednou až dvakrát denně).

**Inhibitory** – Některé organické kyseliny, antibiotika, dezinfekční prostředky mohou proces vyhnívání zpomalit nebo zastavit v závislosti na koncentraci. Jasnými příklady z praxe může být ošetřování více zvířat zároveň, dezinfekce použitá při čištění stájových prostor. Záleží také na používaných prostředcích nebo léčivech.

# 5 Konstrukce bioplynové stanice

## 5.1 Přípravné nádrže a plnění fermentoru

Pomocí traktoru nebo nakladače se substrát nasype do betonového zásobníku přibližně jednou denně. Maximální kapacita zásobníku bývá většinou konstruována na 2 dny. Na dně zásobníku jsou hydraulické posuvníky, které dopravují substráty za pomocí pásů nebo šnekových dopravníků do přípravné nádrže. Dalším vstupujícím tekutým substrátem je kejda. Ta se v ideálním případě může čerpat do přípravné nádrže, nebo se přímo do fermentoru dostat samovolně přepadem ze stáje. V případě nadbytku může být kejda přečerpána do jímky, kde se uloží, dokud nebude použita (Raven & Gregersen 2007). Pokud se jímka nenachází u bioplynové stanice, může být ze vzdálenější jímky dovezena.

V přípravné nádrži dochází k mísení dopravovaných substrátů (viz Obr. 1) a dochází k jejich následnému směšování a případnému naředění vodou nebo recirkulační šachtou z fermentoru. Do přípravné nádrže lze přivést pomocí dopravníků i jiné vedlejší produkty. Pro dokonalejší promíchání substrátu jsou vhodné nádrže s míchadly. Další výhodou pro přípravu substrátu může být použití řezačky, která ještě rozmělní substrát, a tím zvýší plochu pro činnost mikroorganismů ve fermentoru. Kontrolu vyváženého množství materiálů zajistí váha na spodku nádrže. Do fermentoru je přečerpávána promísená homogenní směs skrze odlučovač zabraňující průchodu nečistot. To může zaručit i cylindrický tvar nádrže, který je vhodný pro míchání, ale i k usazení nečistot, protože směs je čerpána na místě vyšším než dno (Schulz & Eder 2004).

## 5.2 Fermentor

Fermentor neboli vyhnívací nádrž může být horizontálního nebo vertikálního typu. Oba typy mají své přednosti i úskalí. Avšak u vertikálního typu lze dosáhnout lepší poměr povrch ku objemu, což má za následek snížení nákladů za materiál a snížení tepelných ztrát (Raven & Gregersen 2007).

Kruhová konstrukce fermentoru je převážně tvořena z betonu nebo oceli. Součástí jsou také technická zařízení jako topení, míchadla, čerpadla i potrubí. Materiály dalších částí konstrukce lze zvolit podle ohledu na rozpočet, životní prostředí nebo na přírodní podmínky v lokalitě. Mezi ně patří například: plášť fermentoru, tepelná izolace, krycí fólie, kontrolní průhledy nebo nátěry (Schulz & Eder 2004).

### 5.2.1 Plášť fermentoru

Pokud je fermentor vyroben z železobetonu, je použit na dno, stěny nebo i strop nádrže. Dovážený beton je vyráběn tak, aby byl vodotěsný i plynotěsný. Na příležitostné spáry se používají elastické pásy, které se svařují či lepí v místech spojů, a dodatečně také těsnící hmoty. Nejdůležitější částí je však samotné betonování, kde se musí dodržet precizní pracovní postup. Před uvedením bioplynové stanice do chodu je potřebné provést zkoušku těsnosti (Schulz & Eder 2004; Samer 2012).

Dalším možným materiálem pro stavbu fermentoru je ocelový plech. Vyrobené nádrže mají podobu cisteren, dokonce mohou fermentory vzniknout právě z vyřazených přepravních cisteren. Ty jsou vyrobeny z kvalitního silného ocelového plechu včetně protikorozní úpravy. Budoucí fermentační nádrže se usadí, částečně upraví a uvedou do provozu (Schulz & Eder 2004).

### 5.2.2 Tepelná izolace

Pro mírný podnebný pás, ve kterém se nacházíme, je nezbytná tepelná izolace fermentoru nebo teplovodů, abychom zabránili ztrátám tepla. Nejpoužívanějším materiálem je minerální vlna pro její nízkou cenu, odolnosti vůči mikrobiálnímu rozkladu a vysokým teplotám. Pro nerovná místa i potrubí lze použít rohože z minerálního vlákna, které se ovíjejí a následně se pokryjí různými druhy krytiny proti vnějším vlivům. Dalšími materiály použitými pro izolaci mohou být upravené polystyrenové desky nebo různé izolační pěny (Schulz & Eder 2004).

Alternativou oproti klasickým používaným materiálům jsou izolační materiály organického původu. Pocházejí z ovčí vlny, bavlny, lnu, kokosových vláken nebo korku. Jsou zajímavou možností pro zvýraznění ekologické orientace bioplynové stanice. Avšak náklady těchto izolačních materiálů jsou vyšší a je potřebná silnější vrstva kvůli jejich vysoké tepelné vodivosti (Schulz & Eder 2004).

### 5.2.3 Vnější plášť

Jako ochrana proti nepříznivým vlivům počasí se izolace zakrývá pláštěm vyrobeným z ocelového nebo hliníkového plechu, ale i dřevem. Na izolační materiál s dostatečnou nosností lze pokládat krytinu přímo. V opačném případě se krytina pokládá na dodatečnou nosnou konstrukci (Schulz & Eder 2004).

### 5.2.4 Krycí fólie

Vrchní část fermentoru je zakryta fólií, která slouží zároveň jako plynojem a v případě nouze umožňuje odkrytí velké plochy. Fólie je vyrobena ze svařovaných dílů PVC s různými úpravami. Nepříznivé vlivy počasí řeší v praxi opora v podobě dřevěné konstrukce na fermentoru, na kterou se umístí fólie. Další možností je dvojitá fólie bez konstrukce. Mezi plynovou fólii a střešní fólii se nafouká vzduch, a tím se střešní plachta napne (Schulz & Eder 2004).

### 5.2.5 Nátěry a těsnění

Používáním nátěrů a těsnicích hmot můžeme dodatečně utěsnit větší plochy, místa spojů a ochránit materiály proti korozi. Používané materiály musí být odolné vůči změnám teploty a vlhkosti, ale i vůči organickým kyselinám, amoniaku nebo sirovodíku (Samer 2012).

## 5.3 Skladovací nádrž

Pomocí přepadového potrubí odchází fermentační zbytek do skladovací nádrže. U většiny nádrží je vybaven také pevným stropem nebo fóliovým krytem, jelikož zabraňuje ztrátám na dusíku, ale také zde probíhá dodatečná tvorba plynu dokvašováním. Přítomná míchadla zajišťují rovnoměrné promíchání digestátu před vyčerpáním (Schulz & Eder 2004). Důležitá je velikost skladovací nádrže, aby přes vegetační klid bylo možné skladování vykvašeného materiálu asi na 6 až 7 měsíců (Lukehurst et al. 2010).

## 5.4 Kogenerační jednotka

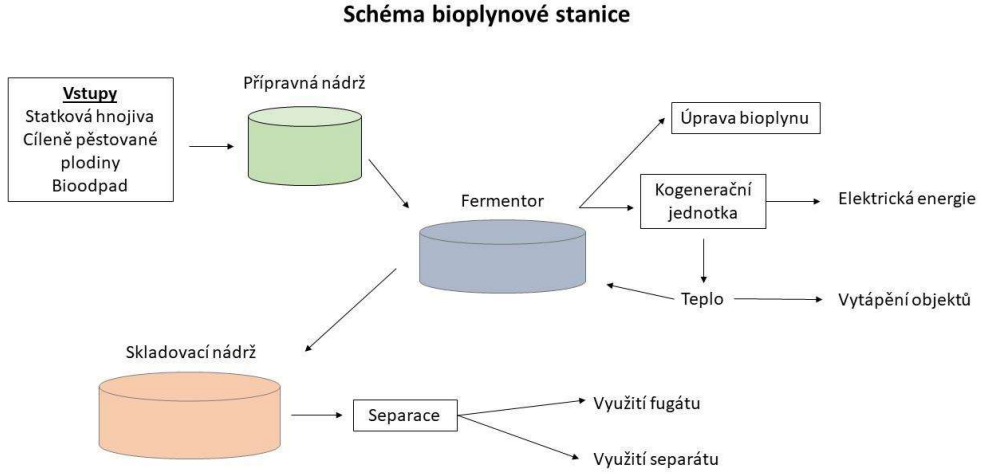
Vzniklý bioplyn je spalován v kogenerační jednotce Spalovací motor pohání generátor, který vyrábí elektrický proud a skrz transformátor ho dodává do sítě. Vzniklé odpadní teplo může být použito na ohřev výměníků tepla a fermentoru (Samer 2012). Zbylé teplo může vytápět budovy, stáje, skleníky, sušárny a další prostory podniku (Raven & Gregersen 2007).

## 5.5 Ostatní části konstrukce

**Míchadla** ve fermentoru několikrát denně promíchávají substrát, aby došlo k rovnoměrnému rozložení tepla, zvýšení kontaktu s mikroorganismy a zabránění usazenin nebo vznik kalového stropu (Samer 2012).

**Nouzový hořák** spaluje bioplyn, aby metan neunikl do ovzduší. Spaluje se v případě nadbytku nebo při servisních pracích na kogenerační jednotce.

**Kontrolní a ovládací zařízení** jsou důležité k správnému chodu a minimalizaci nákladů bioplynové stanice. Obsluhující osoba má přehled o všech údajích z celého průběhu skrze počítač, kterým lze ovládat a sledovat průběh i mimo objekt, nebo na dalších zařízeních u jednotlivých částí konstrukce (Samer 2012).




Obr. 1 Schéma bioplynové stanice (Autor V. Wanča)

# 6 Vstupní materiály

Nejvíce vhodných materiálů (substrátů) pro bioplynovou stanici se produkuje právě v zemědělství, proto je výhodné její zapojení jednak do práce zemědělců, jednak do koloběhu živin. Hlavní vstupní materiály jsou výkaly hospodářských zvířat, zbytky a vedlejší produkty z rostlinné výroby nebo cíleně pěstované plodiny. Vstupní substráty můžeme tedy rozdělit na statková hnojiva z chovů a cíleně pěstované plodiny (Mužík & Kára 2009; Scialabba & Müller-Lindenlauf 2010). Mimo hlavní vstupní materiály lze přivádět i další vhodné substráty. Spolupůsobení různých substrátů se nazývá kofermentace (Schulz & Eder 2004).

## 6.1 Statková hnojiva

Výkaly hospodářských zvířat jsou důležitým vstupujícím substrátem zemědělských bioplynových stanic právě kvůli jejich složení a dobré rozložitelnosti (Kowalczyk-Juśko et al. 2020). Mají také vhodný poměr uhlíku a dusíku (C: N), který je přibližně 20: 1 (Mužík & Kára

2009). Součástí exkrementů jsou mikroorganismy, jež pozitivně přispívají k chodu bioplynové stanice.

Správné nakládání se statkovými hnojivy a posklizňovými zbytky ze zemědělské činnosti je velmi důležité, obzvlášť v podnicích hospodařících v ekologickém režimu, jsou totiž součástí uzavřeného koloběhu živin (Šarapatka & Urban 2006).

### 6.1.1 Kejda

Kejda je směs pevných a tekutých výkalů hospodářských zvířat ustájených na podlaze s rošty nebo s volným ustájením bez podestýlky. Částečně může být také zředěna vodou (Vaněk et al. 2016).

### 6.1.2 Chlévská mrva

Chlévská mrva je směs tekutých a tuhých výkalů, steliva a zbytků výkalů (Škarda 1982). Společně s různými typy ustájení se liší i složení mrvy.

V moderních velkých provzdušněných stájích, které jsou vhodné pro ekologický způsob chovu, se nacházejí uličky pro pohyb zvířat ke krmnému stolu nebo do lóží (Galama et al. 2020). Výkaly v těchto uličkách mají často vyšší obsah vody, a proto jsou vhodným substrátem do bioplynové stanice. Obtížněji by se totiž ukládaly na hnojiště. Pokud se exkrementy více smísí s podestýlkou i určitou částí krmení, mají lepší konzistenci a dobře se vyhrnují pomocí manipulační techniky. Bioplynové stanice s dobrými míchadly zpracují i exkrementy s malým podílem podestýlky (Schulz & Eder 2004).

Při větším množství podestýlky je nutné naředění v přípravné nádrži s vodou, kejdou, močůvkou nebo recirkulátem. Větší kusy exkrementů nebo podestýlky rozmělní břitový mixér v přípravné nádrži. Slámu jako součást podestýlky je vhodnější před stlaním nařezat na menší kousky (Schulz & Eder 2004). To lze zajistit již při sklizni a lisování, ale i při použití zastýlacích vozů.

Exkrementy zvířat ustájených na vysoké podestýlce nejsou vhodným substrátem do bioplynové stanice pro svůj vysoký obsah spotřebované slámy. Lépe se však skladují do bloků na hnojiště, kde uzrají v kvalitní hnůj (Burton & Turner 2003; Schulz & Eder 2004).

## 6.2 Cíleně pěstované plodiny

Kromě živočišné výroby je zdrojem vstupujících substrátů do bioplynové stanice i výroba rostlinná. Cíleně pěstované plodiny slouží jako zdroj energie z obnovitelných zdrojů. Pro svoji

primární funkci plní i funkci sekundární, která úzce souvisí s životním prostředím a udržitelnou budoucností. Pěstované plodiny přispívají k omezovaní skleníkových plynů. Používání různých druhů plodin je výhodné i pro bioplynovou stanici, kde mohou doplnit či nahradit kukuřici. Hlavně pak víceleté plodiny nahrazující kukuřici na svažitých pozemcích, čímž chrání půdu proti erozi (Petříková & Weger 2015). Rozšířením používaných druhů obohatíme osevní postupy, což vede k dobré půdní úrodnosti, biodiverzitě a různorodosti krajiny (Šarapatka & Urban 2006). A proto mohou i různé plodiny pěstované pro bioplynovou stanici snížit podíl převažujících monokultur na polích v České republice.

Pro zemědělské bioplynové stanice je výhodné pěstování těchto plodin zejména pro vlastní potřebu na obhospodařovaných pozemcích, a tím omezit náklady za přepravu nebo jiné činnosti s tím spojené. Přispívají tak k lokálnímu rozvoji krajiny, ale i místních obcí a měst. Lokální rozvoj či prospěch by měl být pro bioplynové stanice zásadní zejména v ekologickém režimu hospodaření. Biomasa jako obnovitelný zdroj může z určité části doplnit odebíranou energii jak pro obec, tak pro potřebu zemědělského podniku. Důležité je však správné zapojení bioplynové stanice do koloběhu. Neměla by sloužit výhradně k výrobě elektřiny, což může naopak zemědělství a samotné půdě velmi uškodit.

Pokud bude výkon bioplynové stanice v souladu s velikostí a činnosti podniku, najde pak své vhodné využití. Podnikem využívané plochy jsou důležité pro správné střídání plodin a aplikaci fermentačního zbytku coby hnojiva (Samer 2012).

### 6.2.1 Polní energetické plodiny

Mezi tyto plodiny patří jak tradiční plodiny využívané dříve k různým účelům, tak i nové netradiční plodiny, u kterých jsou zásadní místní půdní a klimatické podmínky. A po ověření pěstování správně sestavený agrotechnický postup (Petříková & Weger 2015).

Ověřená a známá plodina je **krmný šťovík**. Jedná se o vytrvalou plodinu, která má dostatečný výnos nadzemní hmoty. Díky své pokryvnosti a vytrvalosti na pozemku se hodí na svažité lokality i ve vyšších polohách. Petříková a Weger (2015) ve své knize uvádějí oblast Orlických hor, shodnou s touto prací. Kromě původního krmného účelu se hodí i k výrobě bioplynu pro svůj obsah dusíkatých látek a cukrů, který se pak postupně snižuje a zvyšuje se obsah vlákniny. Termín sklizně je optimální naplánovat na konec května, či začátek června. Výnos z první hlavní seče se pohybuje okolo 21 t/ha. Obsažené cukry umožňují snadné a správné konzervování. Pro další sklizně je důležité zajistit provzdušnění půdy. Krmný šťovík lze využívat oběma způsoby jak pro bioplynovou stanici, tak pro krmení hospodářských zvířat, zejména skotu. První sklizeň probíhá řezačkou stejně jako u kukuřice, druhá či třetí se provádí

běžnou technikou na sečení. Při pěstování v ekologickém režimu zemědělství není dovoleno používat chemické ošetření. V případě poškození porostu lze porost převláčet a dosít (Petříková & Weger 2015).

Další vyzkoušenou tentokrát jednoletou plodinou je **čirok**. Menší podíl v osevních postupech lze navýšit právě druhy pro energetické využití. Čirok je méně náročnější na půdu než kukuřice, ale i na produkci 1 kg sušiny potřebuje o 100 l vody méně oproti kukuřici. Čirok na siláž se sklízí v mléčné voskové zralosti zrna přibližně v půlce září a lze ho dobře konzervovat. Výnos v silážní hmotě je přibližně 40 t/ha. Pro využití do bioplynové stanice je čirok alternativní plodinou k doplnění tradiční kukuřice (Petříková & Weger 2015).

Jedna ze zajímavých energetických plodin s různým způsobem využití je **topinambur hlíznatý**. Kromě hlíz s obsahem inulinu vytváří topinambur značné množství nadzemní hmoty jako substrát do bioplynové stanice jak v zeleném stavu, tak ve stavu silážovaném. Výhodou topinamburu je jeho nenáročnost na stanoviště, může se pěstovat téměř na všech půdách. Vhodné je také chladnější a vlhčí podnebí (Heiermann et al. 2002). Pro jeho nenáročnost a vytrvalost ho lze pěstovat i několik let po sobě, avšak pro následnou plodinu může působit jako plevel. Proto je lepší topinambur pěstovat na okrajových a hůře využitelných pozemcích. Pro ekologické zemědělství je výborná jeho odolnost vůči škůdcům a chorobám, tudíž není potřeba ošetřujících chemických přípravků (Petříková & Weger 2015).

### 6.2.2 Kukuřice

Tradiční plodina používaná jako základní substrát do bioplynových stanice je kukuřice. Hlavní výhody kukuřice spočívají ve vysokému výnosu biomasy kolem 60 t/ha, dobré konzervační vlastnosti a následnou tvorbu metan (Santi et al. 2015; Kowalczyk-Juśko et al. 2020). Dostupný je také široký sortiment různých hybridů, tím lze zvolit nejlepší možnou volbu například pro lokalitu pěstování, vysoký výnos, produkci metanu a dalších vlastností.

Kukuřice je však náročnou plodinou pro pěstování v ekologickém zemědělství pro svoji náročnost na živiny, vyšší míru zaplevelení, ale i náročnosti půdy na přípravu, jelikož vyžaduje hluboké zpracování. Hlavní je však volba pozemku, na kterém je kukuřice pěstována, kvůli erozi půdy. Při pěstování kukuřice je lepší využití podsevů jako protierozní opatření, například různé druhy jetele nebo jetelotravní směsi. Dále není vhodné používat pro pěstování kukuřice svažité pozemky (Gomiero et al. 2011).

### 6.2.3 Travní porost

Využívání travního porostu pro bioplynové stanice je další užitečný objem biomasy. Mezi hlavní výhody patří vytrvalost určitých druhů trav na pozemcích, méně náročná agrotechnika a možnost konzervace. Kromě obhospodařovaných pozemků lze využít také další udržované zelené plochy. Pro bioplynovou stanici je vhodné využívat mladé porosty, jelikož mají vyšší obsah živin a lépe se zpracují v bioplyn. Podíl trav v substrátu by měl být kolem 35 % pro optimální bioplynu. Z trav, které se podílejí na vstupujícím substrátu, mají dobré využití například ovsík vyvýšený, psineček veliký nebo sveřep bezbranný (Petříková & Weger 2015). Na území České republiky je stále vysoký podíl orné půdy přibližně 70 %, ale je zde postupný trend snižování podílu orné půdy tvorbou trvalých travních porostů (TTP). Krom produkce krmiva či sekání na produkci bioplynu mají trvalé travní porosty hlavně krajinotvornou a protierozní funkci. Zatravněné půdy mají také vyšší obsah humusu než půdy pravidelně orané, což vede k dobrému stavu půdy (Hruška et al. 2018).

## 6.3 Kofermentace

Společné zpracování vstupujících materiálů z živočišné výroby s dalšími organickými látkami se nazývá kofermentace (Böjti et al. 2017). V zemědělském podniku je další zdroj organických látek právě rostlinná výroba, ale v jiném případě i různé zdroje zbytků či odpadů, které ovlivňují podíl sušiny nebo živin. Pozor však na provoz bioplynové stanice v ekologickém režimu zemědělství, kdy vstupující materiály by měly mít původ právě v ekologickém zemědělství. V lepším případě je použití vlastních vstupujících materiálů a dovršit tak cyklus bioplynové stanice v podniku.

Pokud se nastaví správný poměr vstupujících materiálů, získá provozovatel bioplynové stanice optimálně složený substrát, který vede k vysokému výnosu bioplynu. Výnos tak ovlivňuje nejen počet a podíl kosubstrátů, ale i zmíněná dopravní a míchací technika. Kofermentace je tak výborný způsob, jak zlepšit chod bioplynové stanice (Schulz & Eder 2004).

# 7 Výstupní vedlejší produkty

Kromě hlavního výstupního produktu bioplynu zůstává po anaerobní fermentaci zbytek neboli digestát, který po separaci skrze přepadové potrubí odtéká do příslušné skladovací nádrže, odkud je transportován a aplikován jako kvalitní organické hnojivo. Obsah živin fermentačního zbytku udává vstupující substrát do fermentoru, což v případě zemědělských podniků pochází z živočišné a rostlinné výroby (Vaněk et al. 2016). Digestát se skládá ze dvou složek fugátu – kapalné části a separátu – tuhé části (Svehla et al. 2020).

## 7.1 Digestát

Digestát je tekutina tmavé až černé barvy. Vyznačuje se také vysokým obsahem vody, kterou lze separačním procesem oddělit na fugát a separát v poměru přibližně 4:1. Velká část živin z použitého vstupujícího substrátu zůstává. Nedochází tedy k výraznějším ztrátám živin a následnou aplikací se odčerpané živiny vracejí zpět do půdy. Obsah fosforu, draslíku nebo vápníku zůstává zachován (Vaněk et al. 2016).

Převážná část organického dusíku se nachází v digestátu v amonné formě (Svehla et al. 2020). Avšak ve fermentačním zbytku zůstává také obtížněji rozložitelná organická hmota, jelikož lépe rozložitelná organická hmota je mikroorganismy rozložena a dále využívána v průběhu fermentace. A proto při produkci metanu a oxidu uhličitého se snižuje poměr C: N. Jednotlivé části fermentačního zbytku mají odlišné účinky jak pro rostliny, tak pro půdu. Digestát lze využít pro hnojení všech druhů polních plodin a travních porostů. Jedná se o hnojivo s rychle uvolnitelným dusíkem využitelným až z 60 %, vysokým obsahem dusíku (až 1 %) na použité suroviny, pH v rozmezí hodnot 7–9 a také s nižším obsahem uhlíku C: N <10 oproti statkovým hnojivům (Jeřábková & Duffková 2019; Adjuik et al. 2020).

Digestát nemůže nahradit v plné míře tradiční a vysoce kvalitní organická hnojiva, ale může je určitě doplnit. Hlavní výhoda digestátu je patrná v porovnání s minerálními hnojivy používanými hlavně v intenzivním konvenčním zemědělství. Při aplikaci dosahuje totiž obstojných výnosů a díky svému organickému původu je digestát vhodnější a přirozenější pro koloběh živin (Komprsová et al. 2015; Koszel et Lorencowicz 2015). Pokud bude bioplynová stanice správně provozována v ekologickém režimu hospodaření, bude i digestát splňovat podmínku organického hnojiva s použitím v ekologickém zemědělství (Babička 2009).

## 7.2 Fugát

Fugát je také hnojivo s rychle uvolnitelným dusíkem obdobně jako digestát. Vzniká při oddělování pevné složky, proto se ve fugátu nachází velké množství vody. Pro nakládání s fugátem je nutné dbát právě na velký obsah vody a buď lze fugát zapravovat hlouběji do půdy, nebo prochází dalšími úpravami, které umožňují jeho snadnější aplikaci bez ztráty živin (Wellinger et al. 2013).

## 7.3 Separát

Pomocí separátoru dochází k oddělení pevné složky digestátu, která pak padá na připravené místo pod separátorem. Velká část živin odchází s fugátem do skladové nádrže, a proto živiny oddělené v separátu jsou pevně vázány ve stabilizovaných organických zbytcích (Vaněk et al., 2016). Oproti fugátu je separát hnojivo s pomalu uvolnitelným dusíkem využitelným z 30 % a vyšším poměrem C: N > 10 (Jeřábková et Duffková 2019).

Ačkoliv obsahuje obtížněji rozložitelnou organickou hmotu, příznivě ovlivňuje fyzikální vlastnosti půd jako objemová hmotnost, pórovitost nebo provzdušnění (Tlustoš 2013).

# 8 Využití vedlejších produktů

Poslední důležitou částí koloběhu bioplynové stanice v zemědělství je využití výstupních vedlejších produktů. Pro provozovatele představuje zdroj kvalitního hnojiva na obhospodařované pozemky, ale i dalších využití v odvětvích zemědělské činnosti.

Kromě hlavního účelu v podobě hnojiva má digestát mnoho dalších výhod a vlastností spojených s manipulací, ale i pro životní prostředí. Snížení zápachu statkových hnojiv je velmi důležitá výhoda pro umístění některých bioplynových stanic, obzvlášť v zastavěných oblastech, kde by mohl zápach, například prasečí kejdy, vyvolat stížnosti obyvatel. Páchnoucí organické kyseliny jsou rozloženy během anaerobní fermentace. U rostlin jde o zlepšení snášenlivosti aplikovaného digestátu, což způsobil právě rozklad organických kyselin a zvýšená hodnota pH. Důležité je dodržet optimální dávku, jelikož při nadměrné dávce lze rostliny poškodit (Babička 2009).

Zlepšená je také tekutost a homogenita digestátu díky rozkladu sušiny, mazlavých a vláknitých látek. Jde o další praktickou výhodu vedlejšího produktu, lépe se s ním manipuluje při aplikaci, čerpání i míchání. Vlivem lepší tekutosti rychleji a hlouběji proniká do země, čímž

snižuje jak přítomný mírný zápach, tak zamezí ztrátám na dusíku, ale vede k lepšímu příjímání rostlinami a vyšším výnosům. Zabránění ztrát na živinách začíná už během fermentačního procesu v bioplynové stanici s uzavřenou konstrukcí. Nedochází tak k odpařování nebo vyplavováním dešťovou vodou. Digestát má vysoký obsah amonného dusíku, tím je větší riziko ztrát dusíku během vyvážení. Samotná aplikace by měla probíhat nízko nad zemí (Schulz & Eder 2004).

Jako další výhodu lze brát i zlepšení zdravotního stavu rostlin, kdy aplikace digestátu může zlepšit odolnost přirozenou rostlin proti chorobám i škůdcům. Při anaerobní fermentaci dochází k snížení klíčivosti semen plevelů. Bioplynová stanice tak z části přispívá k redukci plevelů. Použití digestátu přispívá v chovech k rychlejší obnově pastvy. Ošetřené pastviny byly více spásány a vykazovaly tak rychlejší obnovu, jak tvrdí Schulz a Eder (2004).

## 8.1 Využití digestátu

Aplikace digestátu v podobě hnojiva je nejlepším způsobem jeho využití. Pro aplikaci digestátu jsou podobná pravidla jako při aplikaci kejdy. Ke ztrátám do ovzduší dochází při zvýšeném pH a vyšší teplotě. Ztrátám lze předejít přímým zapravením do půdy či aplikací při nižších teplotách ráno a večer. U řádkového přihnojování by měl být porost schopen živiny okamžitě zužitkovat (Makdi et al. 2012; Koszel & Lorencowicz 2015). Aplikovaný digestát by měl být zapraven do půdy do 24 hodin a separát do 48 hodin. Ve zranitelných oblastech je důležité dodržovat legislativní omezení a nelze tak hnojit v určitém regionu, sklonitosti terénu nebo hnojit pěstované plodiny v době vegetačního klidu. Pro trvalý travní porost platí omezení na zamokřené, mělké půdy a půdy s nevyvinutým půdním profilem (Ryant et al. 2019).

Maximální aplikační dávka digestátu je 10 tun sušiny na hektar v průběhu tří let. Jedna tuna aplikovaného digestátu se při obsahu dusíku 0,5 % dodá 5 kg dusíku. Dávkou 1 t sušiny/ha obsažené v 13,5 t digestátu dodáme 24 kg N, 58 kg K, 40 kg Ca a 10 kg Mg (Vaněk et al. 2016).

Digestát se díky svému nízkému poměru C: N používá pro dodání dusíku k rozložení slámy obilnin, kukuřice nebo slunečnice. Pro polní plodiny je digestát zajímavou variantou pro regenerační hnojení ozimých plodin, předseťové hnojení či přihnojování kukuřice během vegetace. Je rovněž vhodný k meziplodině na zelené hnojení, ta ho ihned využije a bude po zapravení připraven pro následnou pěstovanou plodinu.

## 8.2 Využití fugátu

Fugát tedy lze aplikovat přímo, ale pro velký obsah vody se dále zahušťuje, což vede k lepšímu hospodaření s vodou a snadnější aplikaci hnojiva. Mezi tyto pokročilé procesy úpravy patří například membránová filtrace, evaporace nebo stripování amoniaku. Po úpravách můžeme aplikovat fugát jako zahuštěné kapalné hnojivo a nalézt využití pro oddělenou vodu (Wellinger et al. 2013).

## 8.3 Způsoby aplikace

Pro podnik při používání digestátu a fugátu ke hnojení je výhodou, že stroje pro aplikaci statkových hnojiv jsou obdobné. Přeprava digestátu a fugátu k aplikaci začíná čerpáním ze zásobní nádrže pomocí přepravních cisteren (viz Obr. 3). Přepravní cisterny jsou s návěsem, některé i s ojí, a lze je tak zapřáhnout za traktor či nákladní automobil. Při převážení velkého množství na konkrétní místa, je lepší využít nákladní automobil s velkou cisternou, čímž se sníží náklady na převoz. Cisterna může být vybavena nasávacím ramenem, spojovacím systémem pro nasávání samochodného aplikátoru a dalšími technologiemi.

Z přepravní cisterny dopravené na pole se přečerpává digestát a fugát do fekálních cisteren, na které jsou napojeny různé aplikační koncovky pro dobré využití hnojiva, snížení ztrát na dusíku a aplikaci na svažitých pozemcích.

Mezi základní aplikační koncovky patří hadicový aplikátor (viz Obr. 6). Digestát, či fugát je z cisterny pomocí čerpadla dopravován přes rozdělovač do jednotlivých hadic a na půdu. Šířka ramen se může lišit, ale hadice mají mezi sebou standardní vzdálenost 25 cm. Hadice jsou z dobře ohebného materiálu, tudíž nepoškozují rostliny. Svislé hadice používané těsně nad zemí mají větší odolnost než běžné hadice vlečené po povrchu. Při přepravě jsou hadice složené, nebrání při jízdě a během přepravy mají některé stroje ramena nakloněná směrem vzhůru, aby nedocházelo k případnému drobnému úniku digestátu (Mašek 2016).

S hadicemi je možné dále kombinovat s botkovým, talířovým nebo radličkovým aplikátorem. U botkového aplikátoru jsou hadice na pevném rámu s botkami na konci hadic. Mají menší hmotnost v porovnání s ostatními aplikátory a neznečistí vrchní části rostlin. Vhodný je pro aplikaci na travních porostech i obilninách. Díky této konstrukci mají botky dobrý přítlak k zemi a dochází k aplikaci ke kořínkům. Talířový aplikátor zapravuje digestát, nebo fugát přímo do půdy. První řada půdu rozřízne, dojde k aplikaci a druhá řada zakrývá zapravený digestát, tím se výrazně omezují ztráty na dusíku. Nevýhodou je vyšší hmotnost

aplikátoru. V případě použití radliček dochází k nakypření a promíchání půdy. U radliček je možné také nastavit požadovanou hloubku pro práci (Lukehurst et al. 2010).

Kromě cisteren s aplikátory vlečených traktory je možnost využít samochodný aplikátor vybavený cisternou. Výhodou tohoto stroje je přesná aplikace a díky širokým pneumatikám nízký tlak na půdu, což umožňuje brzké zapojení v jarním období (viz Obr. 2).

Obr. 2 Samochodný aplikátor (Foto V. Wanča)

## 8.4 Využití separátu

Separát lze používat mnoha způsoby. Hnojení separátem se provádí podobně jako kompost nebo hnůj. Kromě samotného hnojení můžeme separát přidat jako složku při kompostování. Společně se snadno rozložitelnou organickou hmotou plní separát při optimálních podmínkách úlohu, která udržuje stabilitu a vzdušnost kompostované hmoty. Výsledný kompost je kvalitní s dobrými sorpčními parametry, i když se výrazně nezvyšuje obsah huminových kyselin. Separát se používá také jako součást substrátů pro pěstování zahradních rostlin. Mohl by tak snížit v organických substrátech podíl rašeliny (Vaněk et al. 2016). Separát se může dále sušit a být použit k výrobě granulí či pelet kvůli lepší skladovatelnosti a dalšímu způsobu využití.

Další využití separátu může být přímo v zemědělském podniku v živočišné výrobě na nastýlání stájí. Separát je tak jednou z možností, jak zajistit požadovaný komfort zvířat ve stáji, zlepšit užitkovost, nebo snížit případy mastitid. Nastýlání je zajištěno pomocí speciálních zastýlacích strojů. Nastlané boxy mohou být upravovány ručně pomocí hrabla, nebo v případě

modernizace strojem na úpravu podestýlky. Zamezí se tak vyleženým nebo znečištěným místům a dojnice tak mají stále dobře upravené boxy na ležení. Stájové boxy by měly být vždy suché, komfortní a udržované v čistotě (Jelínek et al. 2010; Böske et al. 2014).

# 9 Závěr

Práce shrnuje základní využití a smysl bioplynové stanice v ekologickém režimu zemědělství. Zahrnuty byly procesy probíhající při tvorbě bioplynu, jednotlivé části konstrukce a jejich použití v bioplynové stanici. Popsána byla také zemědělská činnost mimo bioplynovou stanici, jelikož se jedná o následné substráty pro fermentaci a zároveň krajinotvorné prvky, které jsou pro ekologické zemědělství také stěžejní. Posledním aspektem provozu bioplynové stanice v zemědělství bylo právě využití jejích vedlejších produktů. Jednalo se především o vlastnosti výstupních materiálů a jejich použití jako hnojiv na zemědělsky využívané plochy. Společně s tím související náležité postupy a správná zemědělská technika. Práce tedy uvádí bioplynovou stanici s jejími výstupy jako zajímavou možnost využití v zemědělství, přínos pro danou lokalitu a obnovitelný zdroj energie.

# 10 Literatura


Adjuik T, Rodjom AM, Miller KE, Reza MTM, Davis SC. 2020. Application of hydrochar, digestate, and synthetic fertilizer to a miscanthus X giganteus crop: Implications for biomass and greenhouse gas emissions. Applied Sciences (Switzerland). **10**: 1–21.

Babicka L. 2009. A important benefit of biogas production. Listy Cukrovarnické a Řepařské. **125**: 277.

Barduca L, Wentzel S, Schmidt R, Malagoli M, Joergensen RG. 2020. Mineralisation of distinct biogas digestate qualities directly after application to soil. Biology and Fertility of Soils. **57**: 235–243.

Blumenstein B, Siegmeier T, Möller D. 2016. Economics of anaerobic digestion in organic agriculture: Between system constraints and policy regulations. Biomass and Bioenergy. **86**: 105–119.

Böjti T, Kovács KL, Kakuk B, Wirth R, Rákhely G, Bagi Z. 2017. Pretreatment of poultry manure for efficient biogas production as monosubstrate or co-fermentation with maize silage and corn stover. Anaerobe. **46:** 138–145.

Böske J, Wirth B, Garlipp F, Mumme J, Van den Weghe H. 2014. Anaerobic digestion of horse dung mixed with different bedding materials in an upflow solid-state (UASS) reactor at mesophilic conditions. Bioresource Technology. **158**: 111–118.

Burton CH, Turner C. 2003. Manure management. Treatment Strategies for Sustainable Agriculture 2nd Edition. Lister & Durling Printers. Flitwick, Bedford, UK.

Červená K, Lyčková B, Kučerová L, Bouchalová M, Barabášová T. 2014. Biologické metody zpracování odpadů. Available from: http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Produkty_anaerobni_digesce.html (accessed February 2021).

Galama PJ, Ouweltjes W, Endres MI, Sprecher JR, Leso L, Kuipers A, Klopčič M. 2020. Symposium review: Future of housing for dairy cattle. Journal of dairy science. **103**: 5759-5772.

Gomiero T, Pimentel D, Paoletti MG. 2011. Environmental impact of different agricultural management practices: conventional vs. organic agriculture. Critical reviews in plant sciences. **30**: 95–124.

Halberg N. 2008. Energy use and green house gas emission in organic agriculture. Organic agriculture and climate change. The contribution that organic agriculture and our dietary choices can make to the mitigatin of global warming.

Heiermann M, Schelle H, Plöchl M, Linke B. 2002. Biogaspotenziale pflanzlicher Kosubstrate. Tagungsband: Biogas und Energielandwirtschaft–Potenzial, Nutzung, Grünes GasTM, Ökologie und Ökonomie. **18**: 19.

Hruška M, Gimunová T, Kohlíček V, Novotný I, Perglerová M, Reininger D, Smatanová M, Havelka J, Chocholouš J, Medonos T, Papaj V, Poláková Š, Skokanová E, Smolková I, Vilhelm V, Vopravil J, Trapl K, Voltr V. 2018. Situační a výhledová zpráva půda 2018. Ministerstvo zemědělství. Praha.

Jelínek A, Dědina M, Plíva P. 2010. Výroba plastického steliva pro skot uplatněná certifikovaná metodika. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. Praha.

Jeřábková J, Duffková R. 2019. Využití digestátu jako hnojiva. Biom.cz, Praha. Available from https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-digestatu-jako-hnojiva (accessed January 2021).

Kára J, Pastorek Z, Přibyl E. 2007. Výroba a využití bioplynu v zemědělství. **11**: 117.

Klinkerová J. 2009. Obnovitelné zdroje energie. Ministerstvo životního prostředí. Praha.

Komprsová I, Gruber M, Prudil M, Florián M. 2015. Porovnání různých systémů hnojení v podmínkách ekologického zemědělství ( EZ ). ÚKZÚZ. Brno

Koszel M, Lorencowicz E. 2015. Agricultural use of biogas digestate as a replacement fertilizers. Agriculture and Agricultural Science Procedia. **7**: 119–124.

Kowalczyk-Juśko A, Mazur K, Maciąg M, Pochwatka P, Listosz A, Mazur A. 2020. Estimation of Potential of Agriculture Biogas Production in the Biała Podlaska County (Poland). Journal of Ecological Engineering. **21**: 156–162. DOI: 10.12911/22998993/126986.

Lukehurst CT, Frost P, Al Seadi T. 2010. Utilisation of Digestate as Biofertiliser. IEA Bioenergy. **37**: 1–36.

Makdi M, Tomcsik A, Orosz V. 2012. Digestate: A New Nutrient Source - Review. Biogas. **14**: 295–310.

Mašek J. 2016. Aplikace kejdy. Agrojournal.cz. Available from https://www.agrojournal.cz/clanky/aplikace-kejdy-156 (accessed March 2021).

Mužík O, Kára J. 2009. Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. Biom. cz. Available from https://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr (accessed April 2021).

Petříková V, Weger J. 2015. Pěstování rostlin pro energetické využití: biomasa, bioplyn, krmiva. Profi Press sro. Praha.

Raven R, Gregersen KH. 2007. Biogas plants in Denmark: successes and setbacks. Renewable and sustainable energy reviews. **11**: 116–132.

Ryant P, Smatanová M. 2019. Využití digestátu ke hnojení. Pages 57–65 in Vaněk V, Balík J, editors. Racionální použití hnojiv. ČZU - FAPPZ Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, Praha.

Samer M. 2012. Biogas plant constructions. Biogas, S. Kumar **14**: 343–368.

Santi G, Proietti S, Moscatello S, Stefanoni W, Battistelli A. 2015. Anaerobic digestion of corn silage on a commercial scale: Differential utilization of its chemical constituents and characterization of the solid digestate. Biomass and Bioenergy. **83**: 17–22.

Šarapatka B, Urban J. 2006. Organic farming in practice. PRO BIO, Šumperk.

Schulz H, Eder B. 2004. Bioplyn v praxi. HEL, Ostrava.

Scialabba NEH, Müller-Lindenlauf M. 2010. Organic agriculture and climate change. Renewable Agriculture and Food Systems. **25**: 158–169.

Siegmeier T, Blumenstein B, Möller D. 2015. Farm biogas production in organic agriculture: System implications. Agricultural Systems. **139**: 96–209.

Škarda M. 1982. Hospodaření s organickými hnojivy. SZN. Praha.

Šťastná J. 2013. Všechno, co potřebujete vědět o odpadech a neměli jste se koho zeptat. EKO-KOM. Praha.

Stürmer B, Leiers D, Anspach V, Brügging E, Scharfy D, Wissel T. 2021. Agricultural biogas production: A regional comparison of technical parameters. Renewable Energy. **164**: 171–182.

Svehla P, Caceres LMV, Michal P, Tlustos P. 2020. Nitrification of the liquid phase of digestate can help with the reduction of nitrogen losses. Environmental Technology & Innovation. **17**: 100514.

Tlustoš P. 2013. Využití pevné složky digestátu pro přípravu pěstebních substrátů: certifikovaná metodika. Česká zemědělská univerzita. Praha.

Vaněk V, Balík J, Pavlík M, Pavlíková D, Tlustoš P. 2016. Výživa a hnojení polních plodin. Profi Press sro. Praha.

Wellinger A, Murphy JD, Baxter D. 2013. The biogas handbook: science, production and applications. Woodhead publishing. Oxford. Cambridge. Philadelphia. New Delhi.

Xu Y, Gong H, Dai X. 2021. High-solid anaerobic digestion of sewage sludge: achievements and perspectives. Frontiers of Environmental Science & Engineering. **15**: 1–18.

# 11 Samostatné přílohy

Obr. 3 Čerpání hnojiva z cisterny do samochodného aplikátoru (Foto V. Wanča)

Obr. 4 Provedená aplikace na trvalý travní porost (Foto V. Wanča)

Obr. 5 Aplikace na orné půdě (Foto V. Wanča)

Obr. 6 Traktorem vlečená cisterna s hadicovým aplikátorem (Foto V. Wanča)

Obr. 7 Čerpání hnojiva do přepravní cisterny u bioplynové stanice (Foto V. Wanča)