

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra pícninářství a trávnickářství



Produkce bioplynu z trvalých travních porostů

Bakalářská práce

Autor práce: Jakub Stibůrek

Vedoucí práce: Ing. Pavel Fuksa, Ph.D.

© 2014 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci Produkce bioplynu z trvalých travních porostů 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 _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Pavlu Fuksovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu a věcné připomínky, které mi poskytl při zpracování této bakalářské práce. Rovněž bych rád poděkoval své rodině za podporu během studia.

Produkce bioplynu z trvalých travních porostů

Souhrn

Bakalářská práce je rozdělena na literární přehled a vlastní pokus, obojí zabývající se využitelností trvalých travních porostů (TTP) k produkci bioplynu za pomoci anaerobní digesce.

Úvod literární rešerše je věnován základním charakteristikám TTP. Kromě produkčních funkcí, mezi které patří především spásání a sečení, mají totiž TTP důležité, ekologicky hodnotné neprodukční funkce. Množství vyprodukované biomasy je v současnosti výrazně vyšší než potřeba pro krmivářské účely, proto dochází k postupnému rozšiřování výměry TTP. Nevyužívané plochy travních porostů jsou vhodným zdrojem potenciální čisté energie. Mezi nejčastější způsoby přeměny travní biomasy v energii patří anaerobní fermentace, díky které vzniká energeticky hodnotný bioplyn. Pro maximální využití potenciálu TTP je nutné jeho vhodné obhospodařování, díky kterému lze dosáhnout vyšších výnosů biomasy, ale i vyšší výtěžnosti bioplynu z biomasy. V neposlední řadě má na kvalitu bioplynu také vliv stupeň technologické vyspělosti spolu s postupy konkrétní bioplynové stanice. Závěr literární rešerše je věnován ekonomické stránce energetické využitelnosti TTP.

V pokusu byl sledován vliv různé úrovně hnojení (nehnojená kontrola, $N_{50}P_{40}K_{100}$, $N_{200}P_{40}K_{100}$) na substrátovou výtěžnost bioplynu a celkovou produkci bioplynu z jednotky plochy TTP. Nejvyšší substrátová výtěžnost bioplynu ($469,3 \text{ ml/g}_{\text{sušina}}$) byla naměřena u varianty bez hnojení. S vyššími dávkami hnojiva pak množství bioplynu klesalo na $449,5 \text{ ml/g}_{\text{sušina}}$ u varianty $N_{50}PK$ a $395,2 \text{ ml/g}_{\text{sušina}}$ u varianty $N_{200}PK$. Mezi nehnojenou variantou a variantou $N_{200}PK$ šlo o významný statistický rozdíl. Obdobného výsledku bylo dosaženo také u výtěžnosti bioplynu z jednotky plochy, kde nejvyšších výnosů bioplynu ($2717,7 \text{ m}^3/\text{ha}$) bylo dosaženo u nehnojené varianty. Nejnižší produkce bioplynu ($2236,5 \text{ m}^3/\text{ha}$) bylo naopak dosaženo u nejvyšších dodaných dávek hnojiva, nejednalo se ale o významný statistický rozdíl. Součástí výzkumu bylo také sledování výnosů travní biomasy v závislosti na termínu seče a množství dodaného hnojiva. Ze statistických výsledků vyšlo najevo, že větší vliv na výnosy biomasy má termín seče. Jedná se však o ojedinělé výsledky z roku 2013 způsobené zejména opožděnou první sečí v důsledku nepříznivého průběhu počasí.

Klíčová slova: biomasa, bioenergie, anaerobní digesce, batch test, termín seče

Biogas production from permanent grassland

Summary

The bachelor's thesis is divided into literary review and experiment, both dealing with the utility of permanent grassland (PG) to produce biogas through anaerobic digestion.

The first section of the literary review will focus on basic functions of PG. In addition to production functions, which include mainly grazing and mowing, permanent grasslands are also important for their ecologically valuable functions. However, in recent years there has been a gradual expansion of acreage of PG as a result of the abandonment of the original feed purposes. These abandoned areas of grasslands are a good potential source of clean energy. The most common method for converting grass biomass into energy is anaerobic digestion. The product of anaerobic digestion is energetic utilizable biogas. Leaving PG without management leads to its degradation. For maximizing the potential of PG it is necessary to use appropriate management. With appropriate management of PG, higher biomass yields and higher substrate biogas yields can be achieved. Last but not least, quality of biogas depends on the technological degree and procedure of specific biogas plant. In the last section of the literary review, economic aspects of energetic utilizable grasslands are discussed.

The experiment investigated the effect of different levels of fertilization (not fertilized control, N₅₀P₄₀K₁₀₀, N₂₀₀P₄₀K₁₀₀) on substrate biogas yields and area biogas yields from PG. The highest substrate biogas yield (469.3 ml/g_{dry matter}) was obtained in variant without fertilization. With higher doses of fertilizers, decrease of substrate biogas yields appeared. It was 449.5 ml/g_{dry matter} for N₅₀PK variant and 395.2 ml/g_{dry matter} for N₂₀₀PK variant. Among unfertilized variant and variant N₂₀₀PK there was a significant statistical difference. A similar result was also achieved in area biogas yield, where the highest yield of biogas (2 717.7 m³/ha) was obtained in not fertilized variant. The lowest yield of biogas (2 236.5 m³/ha) was achieved at the highest doses of fertilizer delivered, but it was not a significant statistical difference. Part of the research was also to follow up the effect of the cut period and fertilizer on total yield of grass. From the statistical results, it became clear that a greater effect on biomass yield was seen during the cut period. However, these are the sporadic results, specific for 2013, caused by late cut due to unfavorable weather conditions.

Keywords: biomass, bioenergy, anaerobic digestion, batch test, cutting period

Obsah

1 Úvod	8
2 Cíl práce	9
3 Literární rešerše	10
3.1 Trvalé travní porosty	10
3.1.1 Definice TTP	10
3.1.2 Funkce TTP.....	11
3.1.2.1 Produkční funkce	11
3.1.2.2 Neprodukční funkce	12
3.2 Faktory ovlivňující výnos TTP	12
3.2.1 Vliv hnojení	13
3.2.1.1 Vliv N	14
3.2.1.2 Vliv P.....	15
3.2.1.3 Vliv K.....	15
3.2.2 Dlouhodobý vliv hnojení.....	15
3.2.3 Vliv sečení	17
3.2.4 Druhová skladba	18
3.2.4.1 Vliv hnojení na druhovou skladbu	19
3.2.4.2 Vliv četnosti sečí na druhovou skladbu	19
3.3 Biomasa TTP jako surovina pro výrobu bioplynu	20
3.3.1 Sklizeň a další zpracování biomasy TTP	20
3.3.1.1 Konzervace biomasy.....	21
3.3.1.2 Dezintegrace biomasy	22
3.3.2 Anaerobní digesce.....	23
3.3.3 Kvalita bioplynu z biomasy TTP.....	24
3.3.3.1 Vliv termínu sklizně na kvalitu bioplynu.....	24
3.3.3.2 Vliv hnojení na kvalitu bioplynu.....	25
3.3.3.3 Vliv druhového složení na kvalitu bioplynu.....	26
3.3.4 Výtěžnost bioplynu z TTP.....	29
3.3.4.1 Substrátová výtěžnost bioplynu	29
3.3.4.2 Výtěžnost bioplynu z jednotky plochy	29
3.4 Ekonomické aspekty travních porostů využitelných k produkci bioplynu	30
3.4.1 Ziskovost TTP využitelných k produkci bioplynu	30
3.4.2 Konkurenceschopnost TTP využitelných k produkci bioplynu	32

4	Materiál a metody	33
4.1	Charakteristika stanoviště	33
4.2	Založení a design pokusu	33
4.3	Stanovení výnosů nadzemní biomasy.....	35
4.4	Stanovení produkce bioplynu	35
4.5	Statistické vyhodnocení výsledků.....	36
5	Výsledky	37
5.1	Výnosy nadzemní biomasy	37
5.2	Substrátová výtěžnost bioplynu	38
5.3	Výtěžnost bioplynu z jednotky plochy	39
6	Diskuze	41
6.1	Výnosy nadzemní biomasy	41
6.2	Substrátová výtěžnost bioplynu	42
6.3	Výtěžnost bioplynu z jednotky plochy	43
7	Závěr	44
8	Seznam literárních zdrojů	45
9	Seznam internetových zdrojů.....	49

1 Úvod

Anaerobní digesce energetických plodin, zemědělských zbytků a organických odpadů se setkává se stále větším zájmem. Hlavní příčina zájmu je snaha o snížení skleníkových plynů a získání udržitelného zdroje energie bez znečišťujících reziduí. Kromě snížení negativního vlivu na životní prostředí přináší anaerobní digesce možnost snížení energetické závislosti na fosilních palivech, která mají omezenou životnost. Právě trvale rozšiřující se plocha trvalých travních porostů (TTP) nabízí významný zdroj čisté energie. Jen v ČR zabírají TTP 23 % z celkové zemědělské plochy a očekává se, že toto číslo nadále poroste. V případě, kdy nedochází ke sklizení nevyužívaných travních porostů ať sečením, nebo pastvou, dochází vlivem sukcese ke snížení druhové diverzity a celkové degradaci těchto porostů. Kromě prvního termínu a intervalu seče je důležitou součástí hospodaření na energeticky využitelných travních porostech hnojení, které má spolu s intenzitou seče podstatný vliv na druhovou skladbu travních porostů. Termín seče a vliv hnojení spolu s druhovou skladbou TTP má pak významný vliv na produkci a kvalitu biomasy, což se výrazně projevuje na kvalitě a množství získaného bioplynu. Součástí hospodaření na energetických travních porostech je také posklizňová úprava biomasy zahrnující její dezintegraci, konzervaci a následnou anaerobní digesci spolu s vlivem těchto faktorů na výtěžnost bioplynu. Pokud má být hospodaření na energetických TTP ekonomicky výhodné, je potřeba zvážit ziskovost a konkurenceschopnost energetických travních porostů s ohledem na polohu, kde se nacházejí. V druhé části bakalářské práce je prezentován pokus vyhodnocující vliv různé úrovně hnojení na substrátovou výtěžnost bioplynu, výtěžnost bioplynu z jednotky plochy a produkci nadzemní biomasy TTP.

2 Cíl práce

Cílem této bakalářské práce je vypracování literární rešerše zaměřené na problematiku využitelnosti trvalých travních porostů k produkci bioplynu. V experimentální části bude vyhodnocen vliv různé úrovně hnojení trvalých travních porostů na produkci bioplynu.

Hypotéza

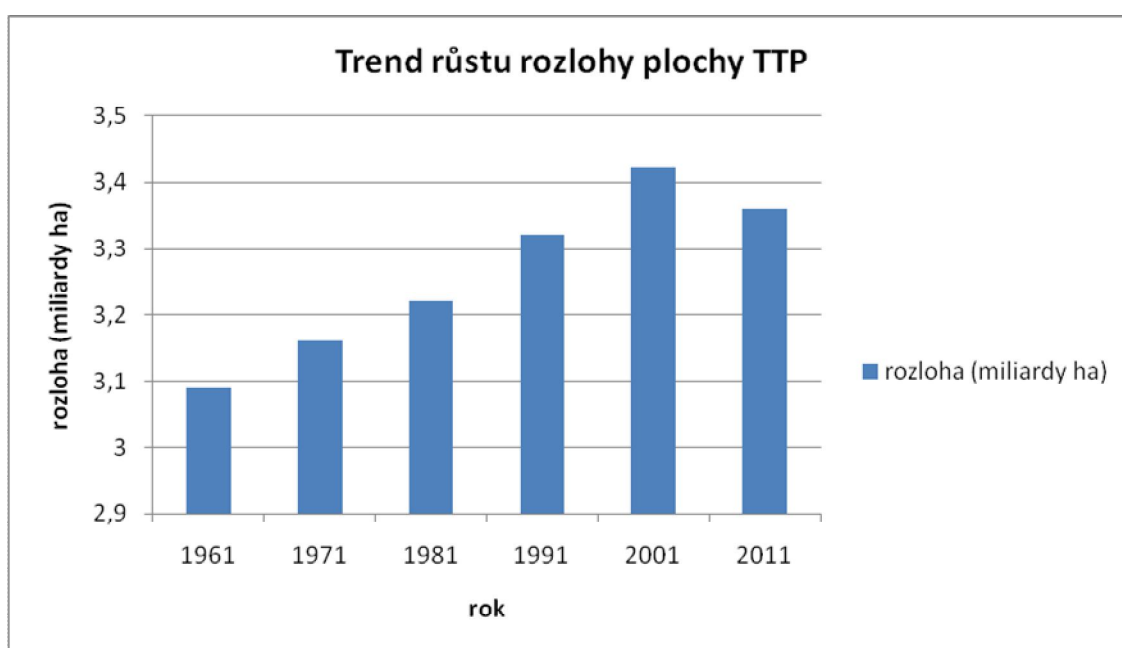
Různá úroveň hnojení trvalých travních porostů má vliv na substrátovou produkci bioplynu a celkovou produkci bioplynu získanou z jednotky plochy.

3 Literární rešerše

3.1 Trvalé travní porosty

Louky a pastviny, tedy trvalé travní porosty (TTP), zabírají plochu o výměře přibližně $3,4 \times 10^9$ ha, což je 68 % z celkové světové zemědělské plochy a 26 % z celkové plochy světa. V Evropě tvoří TTP 38 % z celkové zemědělské plochy. V uplynulých letech došlo ve světě (Graf 1), ale i v České republice k rozšíření ploch s TTP. Nyní travní porosty zabírají přes 23 % zemědělské plochy České republiky (FAOSTAT, 2013).

Graf 1: Trend růstu plochy TTP ve světě v letech 1961 až 2011



(FAOSTAT, 2013)

3.1.1 Definice TTP

Trvalý travní porost a pastviny jsou definovány jako půda využívaná několik, obvykle 5 nebo více po sobě jdoucích let, sloužící pro pěstování buďto uměle pěstovaných nebo divoce rostoucích zelených píceň (EUROSTAT, 2013). V závislosti na původu místa můžeme rozlišit dva základní typy TTP:

1) Přírozené – vznikly bez zásahu člověka. Vyskytují se v stepních, bažinných a rašeliništních lokalitách. Jsou typické pro stanoviště se zhoršenými klimatickými podmínkami, které vylučují existenci lesa. Produkce biomasy je negativně ovlivněna méně příznivými

podmínkami lokality. Tyto trvalé travní porosty jsou využívány většinou intenzivně (Fuksa *et al.*, 2012).

2) Polopřirozené – se nacházejí v oblastech původně osázených stromy. Jejich existence závisí na průběžném zásahu a kultivaci člověka, jako je spásání nebo sečení. Mají potenciál pro vysoké výnosy a mohou být používány intenzivně. Do této skupiny patří také setý trvalý travní porost tvořený směsí kulturních trav spolu s jetelovinami (Fuksa *et al.*, 2012).

3.1.2 Funkce TTP

Trvalé travní porosty lze rozdělit do dvou základních kategorií podle jejich funkce, na produkční a neprodukční, neboli ekologickou. V současné době se využívá především produkční funkce travních porostů, a to jako zdroje potravy pro přežvýkavce. Kromě využití v zemědělské výrobě poskytují travní porosty i další významné neprodukční, ekologické funkce. Zejména se jedná o uchování biodiverzity, ochranu půdy před erozí, izolaci uhlíku z atmosféry a ochranu nadzemní i podzemní vody. Trvalé travní porosty také tvoří nedílnou součást různých kulturních krajín sloužících pro rekreaci a cestovní ruch venkova, čímž přispívají k hospodaření na venkově a jeho rozvoji (Hopkins a Holz, 2006; Prochnow *et al.*, 2009).

3.1.2.1 Produkční funkce

Mezi produkční využití trvalých travních porostů řadíme sečení, spásání nebo kombinované využití (Benda *et al.*, 2012). Je potřeba si uvědomit, že travní biomasa využitelná pro výrobu bioplynu konkuruje svým využitím travní biomase sloužící pro živočišnou výrobu. Proto svoji roli sehraje produkce bioplynu z trvalých travních porostů především ve vyspělých zemích, kde je dosažena rostoucí produkce mléka a masa s klesajícím počtem přežvýkavců, což vede k rostoucímu množství přebytečné, dříve využívané travní plochy s významným bioenergetickým potenciálem (Prochnow *et al.*, 2009). V případě, kdy nedochází ke sklizení těchto přebytečných travních ploch (sečením, pastvou), dojde vlivem sukcese ke snížení druhové diverzity a celkové degradaci těchto travních porostů (Bílek a Žáková, 1999). V rozvojových zemích, s nižší zemědělskou vyspělostí, je travní biomasa nadále využívána jako zdroj krmiva pro hospodářská zvířata (Prochnow *et al.*, 2009).

3.1.2.2 Neprodukční funkce

Kromě produkční zemědělské funkce mají trvalé travní porosty i tyto podstatné neprodukční, ekologické funkce (Hopkins a Holz, 2006). Jedná se zejména o:

- Uchování a stabilizace biodiverzity – rostlinné i živočišné. Zejména schopnost TTP zachovávat vzácné a ohrožené druhy.
- Ochrana před erozí půdy – zahrnuje jak ochranu před větrnou, tak i vodní erozí.
- Retenční schopnost – půda pod travními porosty efektivně zadržuje zásoby vody, může tak zadržet velké množství dešťových srážek a povodňové vody.
- Funkce biologického filtru – filtruje množství zdraví ohrožujících látek, především dusičnany, fosfáty a biocidní látky. Travní porosty zabraňují v pronikání těchto látek do hlubších vrstev půdy a podzemních vod.
- Zvýšení úrodnosti půdy – TTP vytváří velké množství odumřelé organické hmoty tvořící humus. Humus zvyšuje úrodnost půdy, ale také zlepšuje její celkovou strukturu.
- Zdroj jak nadzemní, tak půdní organické hmoty.
- Izolace atmosférického uhlíku.
- Schopnost TTP vyrovnávat teplotní a vlhkostní změny ve svém okolí.
- Estetické a krajinné funkce.
- Zdravotně hygienické funkce – produkce kyslíku, zachycování emisních plynů (zejména oxidů dusíku a uhlíku, vodní páry), snížení prašnosti a úrovně hluku.
- Sociálně ekonomické funkce – zejména v marginálních oblastech ve spojení s chovem hospodářských zvířat, kdy TTP nepřímo slouží také jako zdroj obživy pro lidi (Fiala a Gaisler, 1999; Fuksa *et al.*, 2012).

3.2 Faktory ovlivňující výnos TTP

Výnosy trvalých travních porostů závisí na botanickém složení, které je výslednicí vzájemného působení stanovištních podmínek (především vodní režim, úrodnost půdy) spolu s konkurenčními vztahy mezi rostlinami a způsobem obhospodařování porostu (Fuksa *et al.*, 2012). Pro dlouhodobé udržení travního porostu je základním předpokladem vypracování a realizace správného způsobu obhospodařování. Tím především rozumíme pravidelnou seč porostu spolu s usměrněným a vyrovnaným hnojením, obojí mající významný vliv na botanickou skladbu porostu (Mrkvička a Veselá, 2001).

3.2.1 Vliv hnojení

Živiny odebrané s posečenou biomasou je kvůli dodržení zásad hospodaření na půdě nutné opět navrátit do půdy. Částečně jsou živiny odebrané při sklizni travního porostu kompenzovány samotnými půdními zdroji živin a částečně živinami získanými z atmosféry (především N_2). Je ovšem nutné dodávat živiny také racionálním hnojením, které má velký praktický význam. Hnojení trvalých travních porostů představuje složitý problém, který se skládá z mnoha faktorů, ovlivňujících výsledný efekt. Je nutno brát v potaz rozmanitost a složení porostu ve vztahu k vodnímu režimu a nutričním hodnotám stanoviště. Spolu s těmito faktory je nutné se zaměřit na způsob, jakým je porost obhospodařován a jaké jsou jeho klimatické podmínky. Vzhledem k těmto faktorům je poté potřeba zvolit vhodný druh hnojiva spolu s vhodným způsobem a termínem jeho aplikace. Vlivem správné aplikace je možné zkulturnit méně hodnotné trvalé porosty a zvýšit podíl žádoucích travních druhů (Mrkvička a Veselá, 2001; Fuksa *et al.*, 2012). Žádoucí travní druhy mají vyšší schopnost využívat dodané živiny k vytvoření velkého množství biomasy, díky čemuž získají konkurenční výhodu. Výsledkem takové konkurenční výhody je vyloučení rostlin s nižším vzrůstem vlivem nedostatku slunečního záření (Lepš, 1999). Rostliny s nižším vzrůstem jsou obvykle méně hodnotné složky travního porostu. Hnojení dále podporuje vytváření nových odnoží spolu s bohatším listovím a vytváří celkově robustnější habitus rostlin (Fuksa *et al.*, 2012). Kromě pozitivního vlivu může mít hnojení také žádný, nebo negativní vliv na vývoj a produkci travních porostů (Mrkvička a Veselá, 2001). Mrkvička a Veselá (2001) dále zmiňují téměř shodné názory naší a zahraniční literatury týkající se účinnosti hnojení travních porostů v závislosti na ekologických faktorech. Tedy, že extrémní klimatické i půdní podmínky a vodní režim stanoviště výrazně snižují produkční účinnost živin z dodaných hnojiv.

Vliv hnojení je obvykle větší na méně produktivních porostech, složených z rostlinných druhů dobře reagujících na hnojení. Jsou-li navíc přítomny vhodné vlhkostní podmínky stanoviště, je možné dosáhnout díky aplikaci minerálních hnojiv 100 až 200 procentního navýšení výnosů biomasy. V praxi se setkáváme nejčastěji s hnojivy, obsahujícími především dusík, fosfor a draslík (Honsová *et al.*, 2007). Aplikace těchto prvků má významný vliv na výnosy biomasy. Nejvyšších výnosů biomasy je dosaženo po vyrovnané aplikaci všech tří prvků. V případě absence jednoho nebo více prvků může dojít ke snížení výnosů biomasy oproti plně hnojenému porostu (Liebisch *et al.*, 2013).

K zajímavému zjištění, týkajícího se vlivu obnovy hnojení na produkční výkonnost trvalého travního porostu dospěli Jančovič *et al.* (2004). Zjistili, že po tříleté absenci hnojení

dochází vlivem aplikace dávek 60 až 120 kg N (+PK)/ha k velmi rychlé obnově produkční výkonnosti při vysoké výnosové stabilitě i produkční účinnosti dodaných živin (19,1 kg sušiny/kg N). Při dávkách v rozmezí 120 až 240 kg N (+PK)/ha klesly výnosy sušiny téměř na polovinu (8,6 kg sušiny/kg N) oproti dávkám 60 až 120 kg N (+PK)/ha. A ve srovnání dávek 0 až 60 kg N (+PK)/ha došlo k poklesu výnosů sušiny oproti dávkám 60 až 120 kg N (+PK)/ha téměř o jednu třetinu. Závěrem dodávají, že při uplatnění střídavé aplikace živin v jednotlivých letech (PK – NPK – PK, PK – 0 – PK, N₆₀PK – N₁₂₀PK – N₂₄₀PK) vzrostla výnosová variabilita v čase ($V_x=25,56 - 43,64$ %) několikanásobně ve srovnání s pravidelnou aplikací stejných dávek živin ($V_x=5,26 - 10,42$ %).

3.2.1.1 Vliv N

Dusík je nejdůležitější živina travních porostů s významným vlivem na vyšší výnosy biomasy (Jarvis, 2000). Jeho celkový účinek je však potřeba chápat v širší perspektivě (Fuksa *et al.*, 2012). Reakce porostu na hnojení totiž závisí také na dalších konkrétních faktorech stanoviště, jako jsou: vláhové a klimatické podmínky, typ porostu (zastoupení jetelovin v porostu, hustota travních výhonků, velikost kořenového balu) spolu s půdními vlastnostmi (Hopkins, 2000, cit. In Fuksa *et al.*, 2012). V případě, kdy jsou tyto faktory opomíjeny a dochází k nesprávnému hnojení, dojde ke snížení účinnosti hnojení spolu se snížením kvality vzrostlé píce. Výše zmíněné důvody dělají dusíkaté hnojení odborně nejnáročnějším hnojením travních porostů (Mrkvička a Veselá, 2001).

Experimenty provedené Kacprzak *et al.* (2012) ukázaly, že při zvýšení hnojení dusíkem (z 40 kg N/ha na 120 kg N/ha) dojde k lineárnímu zvýšení výnosů zelené biomasy chrastice rákosovité z 32 t/ha na 46,3 t/ha.

Naopak nadměrné hnojení dusíkem vede k nežádoucím změnám ve vertikální struktuře růstu, k vzájemnému překrývání listů, k žloutnutí porostu od spodních pater vedoucí až k snížení efektu fotosyntézy. Fixace dusíku rostlinami se poté zastaví, nevyužitý dusík se vyplavuje do podzemních vod a zvýší se obsah volných dusičnanů v rostlinách (Fuksa *et al.*, 2012).

3.2.1.2 Vliv P

V důsledku pevných chemických vazeb je fosfor v půdě málo pohyblivý a do hlubších vrstev proniká pomaleji. Proto je efekt na zvýšení výnosu zpočátku menší a plně se projeví až po několika letech hnojení (Mrkvička a Veselá, 2001). Použitelnost fosforu se zvyšuje v případě dostatečné vlhkosti půdy a nízkých zásob draslíku v půdě (Klapp, 1956, cit. in Fuksa *et al.*, 2012).

Valkama *et al.* (2009) porovnávají výsledky dat v metaanalýze zaměřené na vliv hnojení fosforem. Dospěli k závěru, že u trvalých travních směsí pěstovaných na jílovitých půdách, hnojených dávkou 6 – 15 kg P/ha, došlo k zvýšení výnosu o 3 % v porovnání s půdou hnojenou pouze dusíkem a draslíkem. Vyšší dávkou fosforu (16 – 30 kg P/ha) se zvýšily výnosy o 5 % oproti travním porostům hnojeným pouze dusíkem a draslíkem. Další zvýšení dávky nad 16 – 30 kg P/ha nemělo žádný další vliv na navýšení výnosů biomasy travních porostů. Valkama *et al.* (2009) dodávají, že kromě jílovitých půd bylo dosaženo podobných výsledků na všech zkoumaných půdách. Tedy také na hrubě strukturovaných minerálních a organických půdách bylo dosaženo nejvyššího navýšení výnosu biomasy při aplikaci nejnižší dávky fosforu (6 – 15 kg P/ha).

3.2.1.3 Vliv K

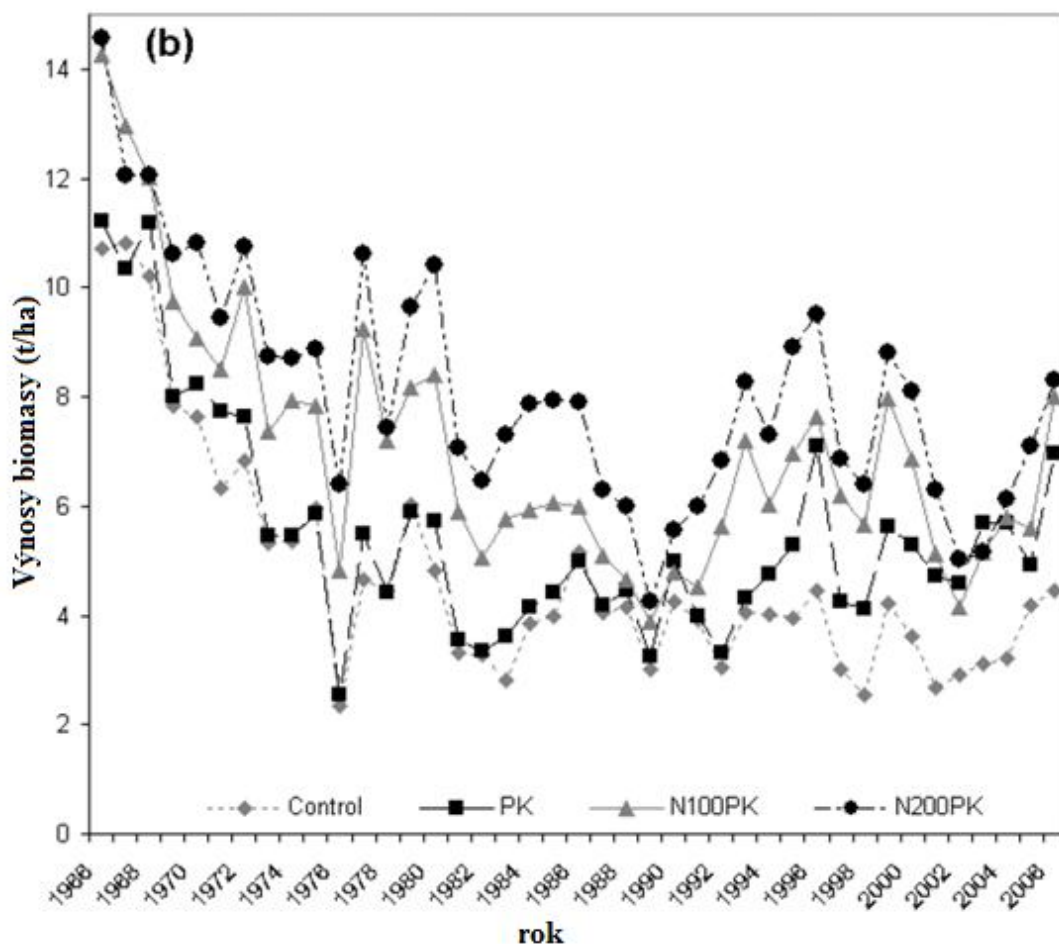
Draslík je v půdě oproti fosforu pohyblivější. Také zásobenost lučních půd draslíkem je lepší, než zásobenost fosforem. Přibližně 40 % z celkové plochy půd má střední až dobrou zásobu přijatelného draslíku (Mrkvička a Veselá, 2001). Malhi *et al.* (2010) došli k závěru, že přidáním draselného hnojiva spolu s dalšími prvky (N, S) vede k mírnému zlepšení výnosů biomasy. Dále zmiňují, že reakce na navýšení výnosů biomasy vlivem aplikace draselného hnojení má tendenci narůstat s postupem času.

3.2.2 Dlouhodobý vliv hnojení

Vliv hnojení na nárůst nadzemní biomasy je dobře patrný z grafu 2, který znázorňuje vliv jeho dlouhodobé aplikace ve čtyřech různých úrovních na pokusném stanovišti v Černíkovcích (Česká republika). Úrovně hnojení byly zkoumány ve variantách: kontrola $N_0P_0K_0$, tedy bez přidaného hnojení. Varianta PK, tedy hnojení fosforem a draslíkem bez přidaného dusíku. Varianta s fosforečným, draselným a přidaným dusíkatým hnojením $N_{100}PK$ a $N_{200}PK$.

Výnosy byly výrazně ovlivněny klimatickými podmínkami v příslušném roce. Nejnižší výnosy byly však vždy zaznamenány ve variantě $N_0P_0K_0$. Změny vlivem hnojení PK se projevily po přibližně 25 letech pravidelné aplikace, přičemž vyšší výnosy biomasy byly zaznamenány zejména v letech, které byly příznivé pro růst jetelovin. Hnojení NPK ve většině případů výrazně zvýšilo výnosy biomasy. Při aplikaci 200 kg N/ha bylo dosaženo vyšších výnosů oproti aplikaci 100 kg N/ha (Honsová *et al.*, 2007).

Graf 2: Dlouhodobý vliv hnojení (1967-2006) na výnosy biomasy ($t_{\text{sušiny}}/\text{ha}$) trvalého travního porostu, Černíkovice



(Honsová *et al.*, 2007)

V tabulce 1 jsou uvedeny výnosy sušiny biomasy energeticky využitelných trvalých travních porostů. Výsledky tohoto experimentu jsou pokračováním experimentu na pozemku Černíkovice. Vlivem aplikace živin v poměru $N_{150}P_{40}K_{100}$ došlo k výraznému navýšení výnosů biomasy z 6,08 t/ha na 9,67 t/ha oproti nehnojenému porostu. Významný vliv hnojení byl zaznamenán zejména při první seči porostu, což souvisí s aplikací celé dávky N před první

sečí. Při dalších sečích nebyl zaznamenán takto významný vliv hnojení na nárůst biomasy. Toto zjištění může pomoci při uplatňování dávky N před první sečí. Je totiž patrné, že první seč varianty hnojené $N_{150}P_{40}K_{100}$ měla podíl výnosu biomasy 57 % z celkového výnosu při třech sečích. Oproti tomu varianta nehnojená ($N_0P_0K_0$) měla při první seči 44 % množství biomasy z celkového výnosu při třech sečích. Je také patrné, že k navýšení výnosů biomasy při první seči dochází úměrně s vyšší dávkou dodaných živin.

Tab. 1: Vliv hnojení na výnosy biomasy trvalých travních porostů ($t_{\text{sušiny}}/\text{ha}$), průměr let 2007-2009, Černíkovice

Hnojení (kg/ha)	1. seč	2. seč	3. seč (t/ha)	celkový výnos
$N_0P_0K_0$	2,66	2,54	0,88	6,08
$N_0P_{40}K_{100}$	3,52	3,00	0,95	7,46
$N_{50}P_{40}K_{100}$	4,64	3,00	0,97	8,62
$N_{150}P_{40}K_{100}$	5,46	3,13	0,95	9,54

(Fuksa *et al.*, 2012)

3.2.3 Vliv sečení

Počet sečí spolu s datem a výškou seče obhospodařovaného travního porostu ovlivňuje nejen množství a kvalitu sklizené travní hmoty, ale také schopnost regenerace travního porostu pro další růst (Fuksa *et al.*, 2012). Příliš časté sečení má spíše negativní vliv na výnosy travní biomasy. Především v průběhu první poloviny vegetace, kdy stále probíhá v rostlině fotosyntéza. Výsledkem je poté velmi pomalý opětovný nárůst biomasy. Proces regenerace růstu po sečení je možné značně urychlit dodáním dusíkatých hnojiv (Frame, 2000). Na druhou stranu, krátké intervaly mezi jednotlivými sečemi zvyšují kvalitu sklizené biomasy (Fuksa *et al.*, 2012). Obecně lze říci, že optimální termín sečení je od počátku metání, až po úplné metání, které převládá na většině travního porostu. Jestliže bude porost sečený dříve, bude mít vyšší kvalitu s nižšími výnosy biomasy. Naopak později sečený porost bude mít vyšší výnosy biomasy s nižší kvalitou píce (Frame, 2000).

Při pokusu provedeném v horské oblasti byly výnosy travního porostu sečeného jednou za vegetační období $4,2 t_{\text{sušiny}}/\text{ha}$. Při provedení dvou sečí během jednoho vegetačního období došlo k navýšení biomasy na $6,4 t_{\text{sušiny}}/\text{ha}$. V případě pokusu s třemi sečemi došlo

k poklesu celkového výnosu biomasy na 5,9 t_{sušiny}/ha. Počet sečí je však nutné přizpůsobit konkrétním stanovištním podmínkám, kdy za příznivých stanovištních podmínek může dojít k lepším výnosům biomasy při vyšším počtu sečí (Amon *et al.*, 2007). Kromě stanovištních podmínek je nutné brát v úvahu také předpokládanou úroveň hnojení (Fuksa *et al.*, 2012). Důležitým faktorem je také termín první seče. V případě příliš časného termínu první seče dojde k výraznému snížení výnosů biomasy oproti pozdějšímu termínu první seče. Přestože dojde ve variantě časně seče k lehce vyšším výnosům biomasy v druhé a třetí seči, nestačí toto navýšení vykompenzovat celkové výnosy (tři sečí) biomasy varianty pozdější seče. Proto je správné načasování první seče klíčové pro celkový výnos biomasy za celé vegetační období (Amon *et al.*, 2007). Výška provedené seče poté určuje, kolik asimilační plochy a rezervního materiálu zanecháme pro další regeneraci. Optimální výška provedené seče na trvalých travních porostech je v rozmezí 30 – 40 mm. Nižší výška seče je lépe tolerována výběžkatými druhy (např. lipnice luční, kostřava červená, psineček veliký, psárka luční) oproti trsnatým druhům (srha laločnatá, bojínek luční, kostřava luční, jílek vytrvalý, ovsík vyvýšený atd.) (Fuksa *et al.*, 2012).

3.2.4 Druhov^á skladba

V lučních společenstvech na sebe vzájemně působí přímo, nebo nepřímo jednotlivé rostliny a to jak v pedosféře, tak v nadzemním prostoru. Druhov^á skladba přirozeného travního porostu vyjadřuje komplexnost půdních a klimatických podmínek z hlediska okamžitého stavu, ale i procesu vývoje (sukcese) společenstva (Rychnovská *et al.*, 1985). Sezónní změny ve vývoji travních společenstev jsou dány rozdílnou dynamikou a rozvojem různých složek, a tím i jejich rozdílným podílem na výnosu v průběhu vegetace. Floristické složení trvalých travních porostů je mimo výše uvedené faktory ovlivněno způsobem, jakým je porost obhospodařován. Vlivem vhodného hospodaření na TTP lze zajistit vyšší výnosy travní biomasy spolu s vyšší kvalitou a opětovnou produkční schopností (Mrkvička a Veselá, 2001). Mezi dva důležité faktory významně ovlivňující druhovou skladbu patří hnojení spolu s četností sečí (Fuksa *et al.*, 2012).

3.2.4.1 Vliv hnojení na druhovou skladbu

Jedním z hlavních faktorů, který ovlivňuje druhové složení TTP je dostupnost živin v půdě. Množství dostupných živin lze výrazně měnit vlivem hnojení (Hejzman *et al.*, 2007). Nejvýznamnějším efektem hnojení je přímý vliv na jednotlivé druhy, což má za následek změnu vzájemné konkurenceschopnosti rostlin. Stejně tak nastává efekt nepřímého vlivu hnojení, který má za následek například zvýšení hustoty porostu, což vede k nižší schopnosti porostu propouštět sluneční záření do nižších vrstev. Nedostatek slunečního záření má poté za následek ještě větší konkurenci rostlin (Guo a Berry, 1998). Výsledkem hnojení je tedy změna dostupných živin pro rostliny, což má za následek zvýhodnění rychle rostoucích rostlin a současné eliminování méně konkurenceschopných (Prochnow *et al.*, 2009).

Výsledky pokusu provedeného Socher *et al.* (2012) vykazují snížení druhové diverzity až o 19 % při zvýšení pokryvnosti travami o 14 % a navýšení výnosů biomasy o 13 % vlivem hnojení dusíkem v průměrných dávkách 35 kg N/ha. Obdobné výsledky vlivu hnojení dusíkem na botanické složení shrnují také Fuksa *et al.* (2012). Tedy že vlivem hnojení dusíkem dochází k zvýšení pokryvnosti travami spolu s navýšením výnosů biomasy. Při dlouhodobém pravidelném hnojení dusíkem však dochází k negativnímu snížení druhové diverzity travních porostů až o 60 %. Autoři dodávají, že největší účinek má hnojení dusíkem v počátečním období (3 – 6 let), kdy dochází k zvýšení pokryvnosti travami přímo úměrně k dávce dusíku. Jedná se především o rostlinné druhy s bohatým kořenovým systémem.

Hnojení fosforem a draslíkem má obvykle menší vliv na botanické složení travního porostu. Většího efektu hnojení P a K na druhovou skladbu je dosaženo na půdách s nižším obsahem dostupného fosforu a draslíku. Vlivem aplikace PK dochází především k zvýšení zastoupení jetelovin v druhovém složení, v některých letech nemá však hnojení PK žádný pozitivní efekt na jejich růst. Přesto v letech 1969 – 1983 došlo na Černíkovickém pokusu vlivem hnojení PK k navýšení pokrytí jetelovinami o 10,1 %. Nehnojený porost vykazoval navýšení pokrytí jetelovinami pouze o 4,2 %. V případě, kdy bylo hnojeno pouze PK, došlo k nejnižší pokryvnosti travami na rozdíl od ostatních dvouděložných rostlin (Honsová *et al.*, 2007).

3.2.4.2 Vliv četnosti sečí na druhovou skladbu

Frekvence sečí nepřímo ovlivňuje výnosy biomasy vlivem změny druhového složení porostu. Obecně platí, že časté sečení snižuje přítomnost vysoce rostoucích travních druhů a zvyšuje

podíl nízké rostoucích, světlo milných druhů včetně jetelovin. Jeteloviny mají pozitivní vliv na půdní úrodnost díky jejich schopnosti asimilovat vzdušný dusík pomocí rhizobiálních bakterií (Soussana a Tallec, 2010). Prochnow *et al.* (2009) shrnují výsledky dalších studií s obdobnými výsledky, kdy při třech a více sečích za sezonu klesá rostlinná diverzita. Dodávají však, že nízké frekvence sečí (1 – 2) za sezonu mohou naopak diverzitu zvýšit. Jiná studie provedena Socher *et al.* (2012) vykazuje pozitivní korelaci mezi počtem sečí a hnojením. V studii vychází najevo, že intenzita hnojení a počet sečí jsou obecně ve vzájemném vztahu.

3.3 Biomasa TTP jako surovina pro výrobu bioplynu

Biomasa je všeobecně veškerá hmota biologického původu, která je z největší části tvořena biomasou rostlinnou. V ČR se biomasa z hlediska energetického využití dělí (podle vyhlášky MŽP ČR č. 482/2005 Sb.) na zemědělskou, pod kterou spadají také trvalé travní porosty, lesní a zbytkovou. Biomasa je nejvýznamnějším obnovitelným zdrojem energie ČR (Benda *et al.*, 2012). Z biomasy lze za pomoci anaerobní digesce získat bioplyn. Bioplyn se skládá ze směsi různých plynů s převahou metanu a menšího množství oxidu uhličitého (Straka *et al.*, 2010). Biometan, tedy metan vyrobený za pomoci anaerobní digesce, může být použit na výrobu elektřiny v elektrárnách, k vytápění domácností, nebo jako pohonná hmota pro dopravní prostředky. Může tak nahradit nyní využívaný zemní plyn (Murphy a Power, 2009).

Produkcí a využitím bioplynu lze obecně považovat za udržitelný postup výroby energie, který zaručuje vysoké úspory v emisích skleníkových plynů (Boulamanti *et al.*, 2013). Množství oxidu uhličitého spotřebovaného při růstu organické hmoty by se mělo rovnat jeho emisi při energetickém využití této hmoty. V případě biozplynování biomasy TTP je tato závislost dodržena. Proto dochází především k významnému snížení oxidu uhličitého uvolněného do atmosféry (Benda *et al.*, 2012).

3.3.1 Sklizeň a další zpracování biomasy TTP

Po posečení porostu se biomasa sklídí a v závislosti na technice upraví. Takto zpracovaná biomasa se dopraví přímo do bioplynové stanice ke zplynování, nebo se přisuší do stavu, kdy obsahuje optimálně 30 – 40 % sušiny. V takovém stavu lze biomasu zakonzervovat v silech různých typů do chvíle, kdy nebude dostatek čerstvé biomasy. Během posklizňového

zpracování biomasy mají významný efekt na výtěžnost metanu především způsob dezintegrace a konzervace (Prochnow *et al.*, 2009).

3.3.1.1 Konzervace biomasy

Jako surovina pro bioplynové stanice (BPS) se z malé části využívá čerstvě posečená tráva, především se však využívá konzervovaná forma travní biomasy. To je dáno pouze sezónním nárůstem travních porostů. Pro efektivní využití BPS je však nutné dodávat suroviny v průběhu celého roku, ne pouze v období sklizně. Výzkum v oblasti uchovávání a skladování travní biomasy, jako vstupní suroviny pro anaerobní digesci se stále rozvíjí.

Vzhledem k minimálním ztrátám kvality uchovávané píce je preferovaný způsob konzervace silážování. Je dobré si uvědomit, že silážování a následná anaerobní digesce jsou dva komplexní biochemické procesy, které se vzájemně kombinují. Samotné silážování vhodně mění vlastnosti biomasy, jako suroviny pro pozdější proces anaerobní digesce. Některé parametry jako velikost částic, přidaná aditiva, doba siláže ovlivňují proces a následnou kvalitu siláže přímo, nebo nepřímo v procesu anaerobní digesce (Prochnow *et al.*, 2009).

Siláž je způsob konzervace, kdy je čerstvě sklizená zelená píce anaerobně zakonzervována pomocí epifytických bakterií, způsobujících mléčné kvašení. Pro zlepšení silážního procesu a kvality výsledného produktu se do čerstvě sklizené píce doporučuje přidávat startovací kultury žádoucích mikroorganismů podporující zmíněné mléčné kvašení (např. *Lactobacillus buchneri*) (Eikmeyer *et al.*, 2013). Dále soli, nebo kyseliny inhibující nežádoucí octové či máselné kvašení. Přidané enzymy a cukry poté zvyšují koncentraci sacharidů podporující tvorbu kyseliny mléčné bakteriemi (Prochnow *et al.*, 2009).

Různé druhy trav mají specifické chemické složení závislé mimo jiné na vlivu hnojení a fázi vývoje růstu. Specifické chemické složení trav poté udává jejich schopnost dosahovat lepších výsledků během siláže. Z pokusu zkoumajícího chemické složení a výtěžnost pěti běžných travních druhů (jílek vytrvalý, jílek mnohokvětý, kostřava rákosovitá, srha laločnatá, bojínek luční) vyšlo najevo, že nejvhodnějším travním druhem pro silážování je jílek mnohokvětý, zejména v případě pěstování bez přidaného hnojení dusíkem. Tento výsledek zapříčinila vyšší koncentrace ve vodě rozpustných sacharidů a nižší pufrovací kapacita jílku mnohokvětého oproti ostatním druhům zkoumaných trav (King *et al.*, 2012).

Vhodně provedená siláž, prodloužená doba skladování a přidání biologických aditiv do siláže mohou zvýšit výnosy metanu až o 11 %. Toto navýšení metanu je způsobeno zvýšením koncentrací organických kyselin spolu s alkoholem vyprodukovaným bakteriemi během silážování. Řádně silážovanou biomasu by tak vzhledem k pozitivnímu nárůstu výtěžnosti metanu vlivem navýšení organických kyselin spolu s alkoholem bylo možno skladovat až po dobu jednoho roku beze ztrát (Herrmann *et al.*, 2011). Naopak v případě, kdy nejsou skladovací podmínky biomasy optimální, může dojít až k polovičním ztrátám výtěžnosti bioplynu. Proces silážování tedy hraje klíčovou roli vzhledem k procesu uchování energie sklizené travní biomasy s následným energetickým využitím (Pakarinen *et al.*, 2008).

3.3.1.2 Dezintegrace biomasy

Sklizenou biomasu dezintegrujeme vzhledem k lignocelulóze obsažené v travách a kvůli zvětšení reakční plochy biomasy. Lignocelulóza je tvořena biopolymery, jejichž stavbu je potřeba rozrušit (mechanicky, tepelně, chemicky). Vlivem rozrušení polymerů dojde k navýšení produktů hydrolýzy a posléze navýšení výnosů metanu. V praxi to znamená mechanické předsekání větších částí sklizené biomasy na menší (Hendriks a Zeeman, 2009).

Travní biomasu, určenou jako substrát pro anaerobní digesce, lze rozměňovat přímo v průběhu sklizně, nebo po vyjmutí ze skladu. Během sklizně je velikost částic redukována konkrétním sekacím zařízením. Skladovanou biomasu lze poté dále mechanicky upravit pomocí drtičů, mlýnků, mixérů na požadovanou velikost částic (Prochnow *et al.*, 2009). Mechanická dezintegrace je efektivní, ale také energeticky náročná. Proto je vhodná kombinace mechanického předsekání spolu s chemickými a fyzikálními postupy (a optimalizace těchto postupů vzhledem k jejich vlastnostem a použitému substrátu) zmenšování velikosti částic, pro dosažení vyšší ekonomické efektivity (Barakat *et al.*, 2013).

Prochnow *et al.* (2009) shrnují výsledky různých výzkumů zkoumajících vliv velikosti částic na výnosy metanu rozmanitých organických surovin, které potvrzují značný vliv dezintegrace produktu na konečný výnos metanu. Především u dezintegrace hnoje, zbytků rajčat, slunečnicových semen, sena, javorových listů, rýže a rýžové slámy, pšeničné slámy, trosku prstnatého, kukuřičné siláže a travní siláže dochází k nárůstu výtěžnosti metanu se zmenšující se velikostí částic. Například Mshandete *et al.* (2006) dosáhli 23% nárůstu výnosu metanu při předsekání vláken sisalu na 2 mm, oproti předem neupraveným vláknům. V některých případech má však dezintegrace biomasy zanedbatelný vliv na výnosy metanu, a

proto je ekonomicky nevýhodná. Je proto rozumné využívat dezintegrace travní biomasy pouze v případě, kdy energetické navýšení metanu způsobené dezintegrací převyší energetickou spotřebu provedené dezintegrace (Prochnow *et al.*, 2009).

3.3.2 Anaerobní digesce

Soubor procesů, při kterých dochází k přímé produkci bioplynu, se nazývá anaerobní digesce. Anaerobní digesce je složena z dílčích procesů, které se odvíjejí od druhu mikroorganismů štěpících polysacharidy spolu s proteiny a lipidy. Tyto procesy jsou hydrolýza, acidogeneze, acetogeneze a metanogeneze, přičemž jsou pojmenovány podle výsledného produktu kvašení každého procesu. Majoritní složkou vzniklého bioplynu je pak metan spolu s oxidem uhličitým (Straka *et al.*, 2010).

Proces anaerobní digesce začíná hydrolýzou, kdy jsou nerozpuštěné látky, jako celulóza, bílkoviny a tuky rozrušeny na monomery vlivem působení enzymů vyprodukovaných fakultativně a obligátně anaerobními bakteriemi. Další fází je acidogeneze, ve které dochází vlivem jiných druhů fakultativních a obligátních bakterií k rozkladu produktů hydrolýzy (monomerů) na organické kyseliny (kyselina máselná, k. propionová, k. octová, octan), alkoholy, vodík a oxid uhličitý (Chandra *et al.* 2012). Koncentrace přechodných vodíkových iontů, vyprodukovaných ve fázi acidogeneze, ovlivňuje metabolismus acetogenních bakterií. Přílišné hromadění vodíku může snížit produkci žádoucích sloučenin. Především kvůli acetogenním, vodík produkujícím bakteriím, je proto žádoucí udržovat nejnižší možný parciální tlak vodíku (Weiland, 2010).

slouží jako substrát pro metanogenní bakterie zajišťující produkci metanu. Proces metanogeneze musí probíhat za striktně anaerobních podmínek (Chandra *et al.*, 2012).

V praxi se používají různé typy procesů anaerobní digesce. Tyto procesy lze rozdělit na mokré a suché, podle obsahu vody v dodaných surovinách (Weiland, 2010). V 90 % německých zemědělských bioplynových stanic se využívá právě mokrá fermentace, která je typická tím, že obsah fermentované směsi je tvořen 8 až 10 % pevných látek. Při mokré fermentaci dodáváme do fermentorů směs trávy spolu s kejdou a jinými plodinami, často silážovanou kukuřicí (Weiland, 2006). Zbylá tuhá složka po anaerobní digesti, nazývaná digestát, je díky svým vlastnostem cenným hnojivem, které může nahradit minerální hnojiva (Weiland, 2010).

Proces anaerobní digesce se neustále rozvíjí a zdokonaluje. Zajímavý je například výzkum rozdělení hydrolýzy do dvou samostatných procesů (termofilní a mezofilní hydrolýza) umožňující podstatné zvýšení výnosů metanu až o 30 % (Orozco *et al.*, 2013).

3.3.3 Kvalita bioplynu z biomasy TTP

Kvalitu bioplynu udává množství obsaženého metanu získaného ze substrátu (Straka *et al.*, 2010). Množství vyprodukovaného metanu z organických substrátů pak závisí především na obsahu živin (proteiny, tuky, vláknina, bezdusíkaté látky) v nich obsažených (Amon *et al.*, 2007). Významnými faktory ovlivňujícími obsah a zastoupení živin travní biomasy je především termín seče, dále pak druhové složení spolu s hnojením. V neposlední řadě mají významný podíl na kvalitě a výnosech bioplynu použité výrobní technologie konkrétní bioplynové stanice (Prochnow *et al.*, 2009).

3.3.3.1 Vliv termínu sklizně na kvalitu bioplynu

Závislost výnosů metanu na stupni zralosti TTP je podstatným faktorem, který může být negativně ovlivněn špatným načasováním termínu první seče spolu s celkovým počtem sečí za vegetační období (Amon *et al.*, 2007).

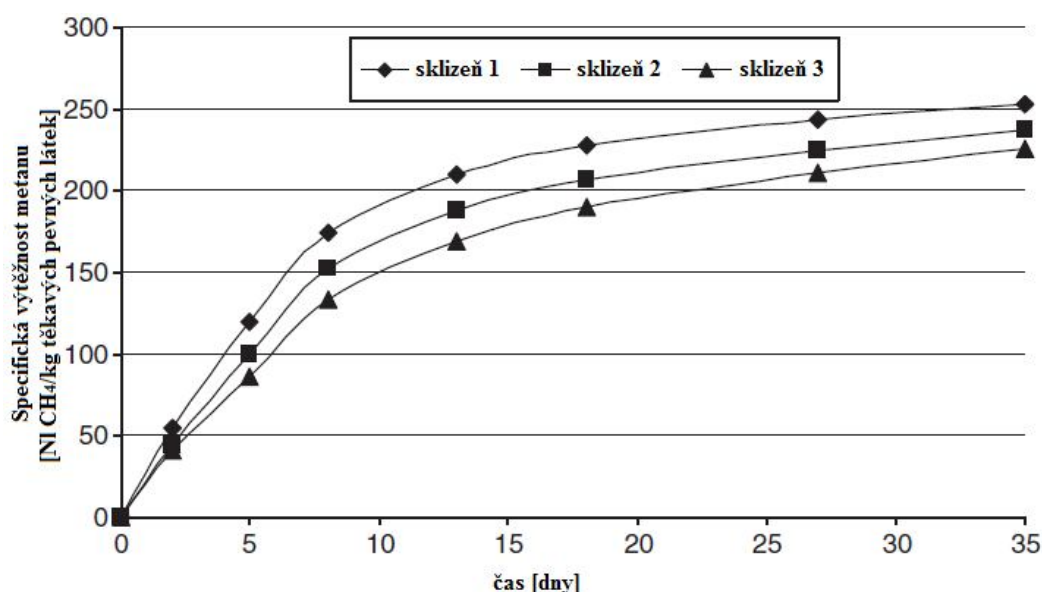
Výzkum zaměřený na výnosy metanu u pěti druhů běžných trav (jílek vytrvalý, jílek mnohokvětý, bojínek, srha laločnatá, kostřava rákosovitá) v závislosti na stupni jejich zralosti (3 termíny) dokazuje, že u všech testovaných trav došlo s oddalující se sklizní ke zvýšení obsahu vlákniny a snížení obsahu bílkovin spolu s vodou rozpustnými sacharidy v nich uložených (McEniry a O'Kiely, 2013). Vláknina, která je tvořena převážně hemicelulózou a ligninem je při anaerobní digesti obtížně rozkládána, což má negativní vliv na průběh anaerobní digesce (Shiralipour a Smith, 1984). Naopak bílkoviny a sacharidy jsou podstatnou složkou podporující tvorbu metanu. Navýšení obsahu vlákniny spolu se snížením obsahu bílkovin a sacharidů vlivem postupující zralosti má za následek snížení výnosů metanu v procesu anaerobní digesce (graf 3) (McEniry a O'Kiely, 2013).

Výzkum provedený Amon *et al.* (2007) na travním porostu v rakouských alpách potvrzuje svými výsledky výše popsané výsledky. Tedy, že výnosy metanu klesly z hodnot mezi 221 – 362 litrů CH₄/kg_{sušiny} ve fázi prodlužování rostlin (před kvetením) na 171 litrů

$\text{CH}_4/\text{kg}_{\text{sušiny}}$ v průběhu kvetení až na 153 litrů $\text{CH}_4/\text{kg}_{\text{sušiny}}$, kdy byla sklizeň provedena v srpnu.

Jiný tříletý výzkum provedený v severovýchodním Německu zkoumal výnosy metanu TTP sklizeného v období od poloviny června do konce února. Výnosy metanu klesaly lineárně v průběhu celé sezóny z počátečních 298 litrů $\text{CH}_4/\text{kg}_{\text{sušiny}}$ při červnové sklizni na 155 litrů $\text{CH}_4/\text{kg}_{\text{sušiny}}$ při únorové sklizni (Prochnow *et al.*, 2005).

Graf 3: Vliv termínu sklizně (sklizeň 1=12. května, sklizeň 2=9. června, sklizeň 3=7. července; průměr testovaných trav) na kumulativní výnos metanu v 35 denních batch testech



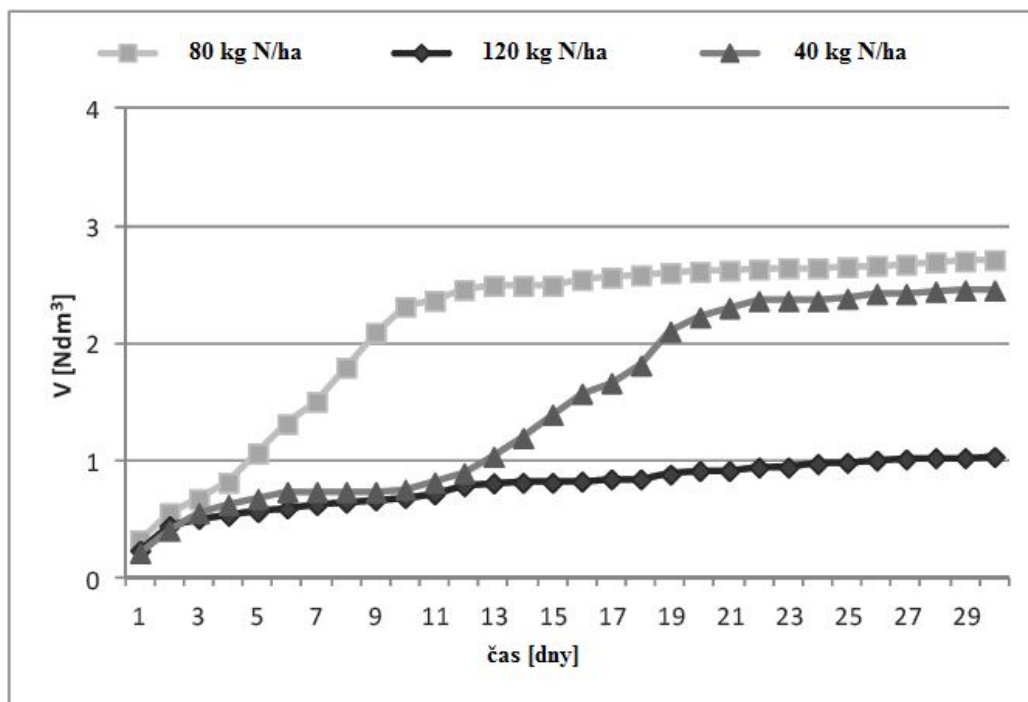
(McEniry a O'Kiely, 2013)

3.3.3.2 Vliv hnojení na kvalitu bioplynu

Experiment provedený Kacprzak *et al.* (2012) zaměřený na zkoumání vlivu hnojení dusíkem na výnosy metanu z chrastice rákosovité, která je díky svým vlastnostem významnou energetickou travou (Lotjonen a Paappanen, 2013), potvrzuje vliv hnojení na kvalitu získané biomasy. Výsledky experimentu dokazují podstatný vliv hnojení dusíkem nejen na množství sklizené biomasy, ale také na konečné množství bioplynu z ní získané. Hodnoty ukazují, že přestože dochází se zvýšením hnojením k lineárnímu zvýšení výnosů zelené biomasy, není tomu tak s výtěžkem bioplynu. Nejvyššího výtěžku bioplynu ($126 \text{ m}^3/\text{t}_{\text{zelené hmoty}}$) bylo dosaženo při aplikaci 80 kg N/ha . Naopak nejnižšího výnosu bioplynu ($45,5 \text{ m}^3/\text{t}_{\text{zelené hmoty}}$) bylo dosaženo při aplikaci nejvyššího množství hnojiva (120 kg N/ha), jak je patrné z grafu 4 (Kacprzak *et al.*, 2012). Použití dusíkatých hnojiv může způsobit zvýšení obsahu ligninu

v travách (především chrastice rákosovité), což má za následek negativní vliv na průběh anaerobní digesce a na výtěžnost bioplynu (Allison *et al.*, 2012).

Graf 4: Průběh kumulativní produkce bioplynu z chrastice rákosovité při třech různých úrovních hnojení



(Kacprzak *et al.*, 2012)

3.3.3.3 Vliv druhového složení na kvalitu bioplynu

Jednotlivé rostlinné druhy TTP se mohou lišit svým chemickým složením. To je také důvod rozdílných výnosů bioplynu závislých právě na druhovém složení TTP (Prochnow *et al.*, 2009).

Výzkum provedený ve Švýcarských podnebných podmínkách zkoumal výtěžnost bioplynu 4 druhů trav odebraných z porostů o stejném druhovém složení. Výsledky poukazují na podobné výsledky výtěžnosti bioplynu bojínku lučního, srhy laločnaté a chrastice rákosovité, které se pohybovaly v rozmezí 490 až 540 l/kg_{sušiny}. Pouze u psárky luční došlo k znatelně nižším výnosům bioplynu (420 l/kg_{sušiny}) (Baserga a Egger, 1997, cit. in Prochnow *et al.*, 2009).

Jiný pokus z oblasti jižního Německa zabývající se specifickými výnosy metanu pěti druhů trav (jílek, kostřava luční, lipnice luční, srha laločnatá, bojínek) a jejich odrůdami poskytl výsledky substrátové výtěžnosti metanu v širokém rozmezí od 198 do 375 l/kg_{sušiny}.

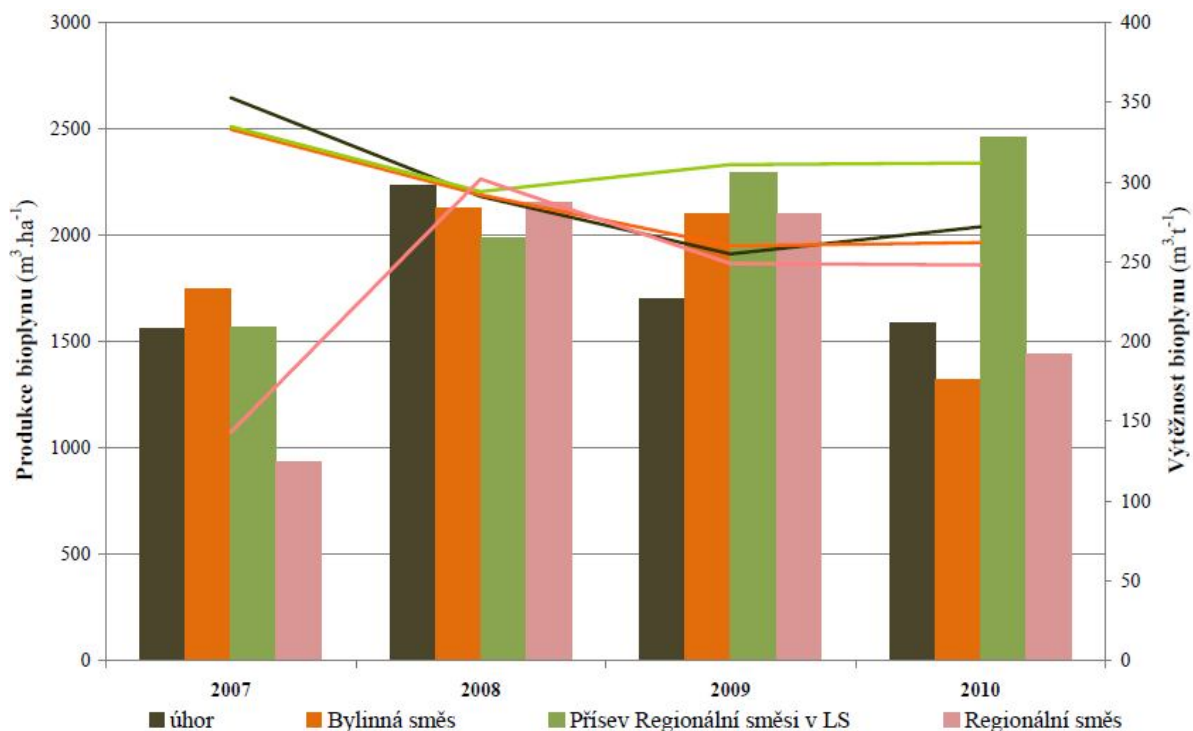
Kolisání substrátové výtěžnosti metanu mezi odrůdami jednoho druhu většinou překročilo šíři kolísání substrátové výtěžnosti metanu mezi samotnými druhy. Výnosy biomasy jednotlivých druhů a odrůd trav pak měly větší vliv na výtěžnost metanu z jednotky plochy, než na substrátovou výtěžnost metanu (Kaiser a Gronauer, 2007, cit. in Prochnow *et al.*, 2009).

Výsledky pokusu provedeného v severozápadní části Evropy ukazují podobné výsledky výnosů metanu u jílku vytrvalého, jílku mnohokvětého, bojínku a kostřavy rákosovité. Pouze u srhy laločnaté byla výtěžnost bioplynu z jednotky plochy o 26 % nižší. Srha laločnatá je tak méně vhodným druhem pro anaerobní digesce v těchto podnebných podmínkách (McEniry a O’Kiely, 2013).

Výsledky série výzkumů provedených na experimentálních travních porostech se stejným druhovým složením dokazují, že rozdíly substrátové výtěžnosti metanu mezi stejnými druhy trav nejsou významné. Ve skutečnosti se však vegetace TTP skládá z četných rostlinných společenstev. Vyvstává tak otázka, zda různé směsi rostlinných společenstev mohou vést k různým hodnotám substrátové výtěžnosti metanu. Například vysoké procento bylin v travním společenstvu by mohlo mít podstatný vliv na výnosy metanu. Toto tvrzení však potřebuje další výzkum (Prochnow *et al.*, 2009). Jedním z takových výzkumů mapující výnosy bioplynu z různých druhů travních směrů o vysoké druhové diverzitě se uskutečnil na experimentálním stanovišti v Zubří (Česká republika) (Graf 5). Pro stanovení produkce bioplynu byly v letech 2007 – 2010 vybrány 4 varianty travních směrů. Varianta 1, bylinná obchodní směs obsahovala celkem 26 rostlinných druhů (6 trav, 2 jeteloviny, 18 bylin). Varianta 2, regionální směs trav a leguminóz s přidavkem bylin (6 trav, 3 jeteloviny, 22 bylin). Varianta 3, regionální směs přiseta v pásu do obchodní luční směsi (6 trav, 2 jeteloviny), a varianta 4, jakožto spontánní úhor vzniklý samozatravněním na orné půdě. Z opakovaných pokusů anaerobní digesce lze konstatovat, že vyšší produkce bioplynu bylo dosaženo u biomasy s vyšším podílem jetelovin. Produkci bioplynu naopak snižovala přítomnost chrpy luční. Samostatný pokus zkoumající vliv chrpy luční na metanogenezi potvrdil, že digesce samotné chrpy luční dojde k výraznému snížení výtěžnosti bioplynu. Stejný negativní vliv na metanogenezi byl prokázán také u biomasy štírovníku růžkatého. Výsledky výzkumu dále ukazují, že nejvyšší produkce bioplynu bylo dosaženo u varianty 3, tedy u směsi tvořené šesti druhy trav a dvěma druhy jetelovin. Výnosy bioplynu této varianty byly vyšší až o 13 – 20 %, oproti ostatním směsím. Dalším zajímavým výsledkem je nejnižší produkce bioplynu u varianty 2, a to přestože u této varianty byla naměřena nejvyšší průměrná produkce biomasy (Frydrych *et al.*, 2012).

Pokus provedený Tilvikiene *et al.* (2012) hodnotí energetickou vydatnost anaerobní digesce na jednotku plochy u košťavy luční, srhy laločnaté a chrastice rákosovité. Nejvyšší energetickou hodnotu měla košťava luční, a to v rozmezí 164,6 – 186,1 GJ/ha. Druhou nejvyšší energetickou hodnotu měla srha laločnatá 141,4 – 149,5 GJ/ha a nejnižší energetickou hodnotu měla chrastice rákosovitá (89,7 – 114,1 GJ/ha).

Graf 5: Celková produkce a výtěžnost bioplynu u vybraných směsí, Zubří



(Frydrych *et al.*, 2012)

Za základní prvek udávající volbu vhodného způsobu obhospodařování TTP pro energetické účely můžeme považovat botanické složení travního porostu spolu se stanovištními podmínkami a environmentální funkcí porostu v krajině. Vzhledem k variabilitě travních porostů neexistuje univerzální způsob jejich obhospodařování. Z výše psaného textu lze však dojít k závěru, že první a základní krok je vhodně zvolený počet sečí. Častým sečením při rané vegetaci porostu dochází k vyšším výnosům substrátové výtěžnosti bioplynu. Na druhou stranu může dojít k nižším výnosům bioplynu z jednotky plochy způsobeným neúplným nárůstem zelené hmoty. Toto snížení výnosů bioplynu z jednotky plochy může být částečně eliminováno vhodným druhovým složením porostu, které lze usměrňovat přiměřeným hnojením (Fuksa *et al.*, 2012).

3.3.4 Výtěžnost bioplynu z TTP

Cílem zásobování bioplynových stanic biomasou je dosažení nejvyšších možných výnosů metanu na jednotku plochy (m^3/ha), ze které biomasu získáváme. Tyto výnosy metanu z plochy jsou dány hmotností sklizené biomasy na jednotku plochy (kg/ha) a substrátovou výtěžností (l/kg) sklizené biomasy. Substrátová výtěžnost bioplynu spolu s celkovou výtěžností bioplynu jsou důležité parametry udávající ekonomický aspekt využívání travní biomasy jako substrátového zdroje BPS (Prochnow *et al.*, 2009).

3.3.4.1 Substrátová výtěžnost bioplynu

Substrátová výtěžnost bioplynu (l/kg) zhodnocuje množství výtěžku bioplynu z určitého množství fermentované biomasy. Faktory ovlivňující kvalitu a výtěžnost bioplynu jsou podrobně popsány v kapitole 3.3.3.

Substrátová výtěžnost bioplynu představuje základní kvalitativní charakteristiku v procesu výroby energie za pomoci anaerobní digesce. Základem výtěžnosti bioplynu je obsah jednotlivých živin (proteiny, tuky, vláknina, bezdusíkaté látky) dodaného substrátu, které mohou být rozloženy na metan a oxid uhličitý. Tento fakt vede ke snaze teoreticky spočítat produkci bioplynu ze substrátu, ze kterého byl vyprodukován. K tomuto účelu byl vytvořen model zabývající se výtěžností bioplynu (MEVM – Methane Energy Value Model). Kromě TTP se MEVM zabývá dalšími významnými energetickými plodinami (kukuřice, pšenice ozimá, tritikále, ozimé žito, slunečnice). Model MEVM odhaduje výnosy metanu vybraných energetických plodin za pomoci regresních modelů. Je však nutné připomenout, že tento model je založen na laboratorních testech, které se blížily ideálním podmínkám. Za běžných podmínek u konkrétní bioplynové stanice se proto výnosy metanu budou pravděpodobně lišit od hodnot získaných pomocí výpočtu modelu MEVM (Amon *et al.*, 2007).

3.3.4.2 Výtěžnost bioplynu z jednotky plochy

Výtěžnost bioplynu z jednotky plochy je kromě chemického složení, udávající rozložitelnost biomasy, závislá také na množství sklizené biomasy. Faktory ovlivňující produkci TTP jsou popsány v kapitole 3.2.

Výtěžnost bioplynu z jednotky plochy (m^3/ha) je základní ukazatel sloužící pro výpočet ekonomické efektivity energetických TTP. Přijatelného zisku z dodávek travní biomasy lze dosáhnout díky vysokým výnosům kvalitní travní biomasy, středně dlouhým dopravním vzdálenostem a příznivým terénním podmínkám obhospodařovaných polí (Blokhina *et al.*, 2011). Amon *et al.* (2007) dospěli k závěru, že výtěžnost bioplynu z jednotky plochy má tendenci zvyšovat se spolu s počtem sečí a dodaným hnojením.

3.4 Ekonomické aspekty travních porostů využitelných k produkci bioplynu

3.4.1 Ziskovost TTP využitelných k produkci bioplynu

Ziskovost obecně závisí na poměru nákladů a výnosů. V případě produkce bioplynu z TTP jsou náklady tvořeny zásobováním surovinami a jejich přeměnou na energii. Výnosy pak vyplývají z prodeje energie, nebo biomasy a případných tržeb za pronájem půdy. Ekonomické propočty jsou k dispozici především z Německa, kde legislativa obecně podporuje bioenergie a kde je travní biomasa častou vstupní surovinou zemědělských bioplynových stanic (Prochnow *et al.*, 2009).

Náklady na zásobování surovinami zahrnují náklady na obhospodařování travních porostů (hnojení), náklady na sklizeň (sečení, balíkování, úprava pozemku, doprava sklizené biomasy), náklady na skladování a manipulaci (umístění do sil, zhutnění, skladování, opětovné vyjmutí ze sil a zásobování fermentorů) a režijní náklady (držby, daně, pojištění, apod.). Náklady na dodávku travní siláže závisí především na výnosech biomasy, intenzitě obhospodařování porostu, dopravních vzdálenostech a náročnosti terénu obhospodařovaných pozemků (velikost pozemku, sjízdnost, sklon, atd.). Rozdíly v těchto parametrech také zapříčiňují rozdíly v nákladech na zásobování (Prochnow *et al.*, 2009). Tyto náklady jsou vypočteny na 37 – 41 €/t_{čerstvé hmoty} u travních porostů s intenzivním obhospodařováním, zahrnujícím hnojení, dosévání a 3 – 4 seče za rok (Rosch *et al.*, 2007, cit. in Prochnow *et al.*, 2009). U rozsáhlých luk s jednou sečí za rok se náklady pohybují v rozmezí 31 – 39 €/t_{čerstvé hmoty} (Blokhina *et al.*, 2011).

Náklady na přeměnu biomasy v energii zahrnují fixní a variabilní náklady, náklady na pracovní sílu a režijní náklady. Tyto náklady jsou závislé hlavně na velikosti a technické úrovni BPS. Náklady na výrobu elektřiny z travní biomasy jsou uváděny na 14,8 až 17,8 centu/kWh_{el}, přičemž se tyto náklady snižují s většími rozměry BPS (Rosch *et al.*, 2007 cit in Prochnow *et al.*, 2009).

Jiná studie provedená v národním parku Údolí Dolní Odry nacházejícím se v severovýchodním Německu zkoumá ekonomickou rentabilitu výroby bioplynu z TTP pro různé technické koncepty.

- Koncept 1: Decentralizovaná digesce v pěti bioplynových stanicích s vlastními kogeneračními jednotkami na přeměnu bioplynu v elektřinu a teplo. Náklady na výrobu elektřiny se v tomto případě pohybují v rozmezí 18 – 21 centu/kWh. Tyto náklady klesají se zvětšující se kapacitou elektrárny obdobně, jako tomu bylo u Rosch *et al.*, 2007 cit in. Prochnow *et al.*, 2009. U každé z pěti BPS byly roční příjmy vyšší, než roční náklady, což dělá tento koncept ziskový. Vstupní suroviny tvoří 33 – 40 % celkových ročních nákladů.
- Koncept 2: Pět samostatných BPS, každá s vlastní oddělenou plynovodnou soustavou vedoucí do jedné centralizované kogenerační jednotky. U tohoto konceptu dosahovaly náklady na výrobu elektřiny 24,5 – 25,6 centu/kWh. Tyto vysoké náklady byly zapříčiněny zejména vysokými investičními náklady na zřízení pěti samostatných plynovodných sítí a dále vysokými ročními výdaji. Příjmy jsou nižší, než náklady a to i v případě prodeje 50 % vyprodukovaného tepla. Zisku by bylo možné dosáhnout jen tehdy, pokud by se prodalo 96 % vyprodukovaného tepla, což je z praktického hlediska jen těžko uskutečnitelné. Vstupní suroviny tvoří 32 % celkových ročních nákladů.
- Koncept 3: Pět samostatných BPS se zařízením na čištění bioplynu a jeho následným zásobováním do rozvodné sítě zemního plynu. Tento koncept dosahuje nákladů na výrobu elektřiny od 26,3 do 27,3 centu/kWh. Právě kvůli úpravě bioplynu se v důsledku nákladů na modernizaci BPS stává tento koncept vysoce nerentabilní, a to i za předpokladu prodeje 100 % vyrobeného tepla.

Důvody ekonomického selhání konceptů 2 a 3 jsou podobné. Nízké kapacity a nepříznivé umístění BPS vede k vysokým investičním nákladům na výstavbu dlouhých plynovodných sítí a zařízení na úpravu bioplynu pro jeho možné napojení na sítě zemního plynu. Dodatečné náklady na výstavbu pak převyšují dodatečné příjmy z prodeje tepla.

- Koncept 4: Jedna centrální BPS. Náklady na výrobu elektřiny se pohybují v rozmezí 16,7 – 17,8 centu/kWh. Pro ziskovost BPS je klíčový podíl prodaného tepla. Při prodeji nad 36 % tepla je BPS zisková. Je proto nezbytné, mít odběratele nejen elektřiny, ale i tepla a to v průběhu celého roku. Vstupní suroviny tvoří 55 % veškerých ročních nákladů.

Travní porosty se oproti energeticky využívané kukuřici vyznačují nižšími substrátovými výnosy metanu. Přesto, za určitých okolností, může být dosaženo ekonomicky výhodné přeměny travních porostů v energii. Klíč k ziskovosti je v dosažení nízkých nákladů na vstupní suroviny a nízké investiční náklady. Nutným předpokladem je volba vhodného konceptu a získávání příjmů nejen z prodeje elektrické energie, ale také z vyprodukovaného tepla a případných dotací (Blokhina *et al.*, 2011).

3.4.2 Konkurenceschopnost TTP využitelných k produkci bioplynu

Důležitým parametrem zajišťujícím ekonomickou životaschopnost energetických TTP je kromě ziskovosti také konkurenceschopnost. Jednak se jedná o konkurenční boj biomasy travních porostů s dalšími vstupními surovinami vhodnými pro anaerobní digesci. Dále se travní porosty využívají především ke zkrmování pro hospodářská zvířata a k dalším významným neenergetickým účelům (Prochnow *et al.*, 2009).

Významným konkurentem v oblasti získávání bioplynu je pro travní biomasu kukuřice, která má vyšší výtěžek bioplynu i ziskovost (Weiland, 2010). V Německu a Rakousku, kde je biomasa jako zdroj energie z obnovitelných zdrojů oproti jiným evropským zemím více dotovaná, dochází k tomu, že zemědělci z mlékárenských oblastí se snaží zvýšit podíl kukuřice oproti travnímu porostu v BPS (Taube *et al.*, 2007).

Konkurence může být ovlivněna právními předpisy, které podporují určité formy využívání půdy. V současné době jsou v některých zemích obnovitelné zdroje energie dotovány. Tvrdí se ale, že bioenergetické využití půdy díky dotacím vytlačuje původní chov zvířat, využívajících travního porostu, jako krmiva a přispívá tak k úbytku potravin pro rostoucí světovou populaci (Ceotto, 2008). Při širším pohledu na tuto problematiku však dostaneme přesnější výsledek odpovídající současné situaci. Tedy, že ve vyspělých zemích počty přežvýkavců skutečně klesají, přesto ale dochází k zvyšování produkce mléka a masa. Spolu se zvýšenou výkonností hospodářských zvířat se totiž změnilo také složení jejich krmiva, které v současnosti obsahuje vyšší množství koncentrátů a má tak vyšší výživovou hodnotu. Tato změna krmiva vede k tomu, že je potřeba stále menších pastevních prostor pro přežvýkavce a tento trend se očekává i nadále (Prochnow *et al.*, 2009).

4 Materiál a metody

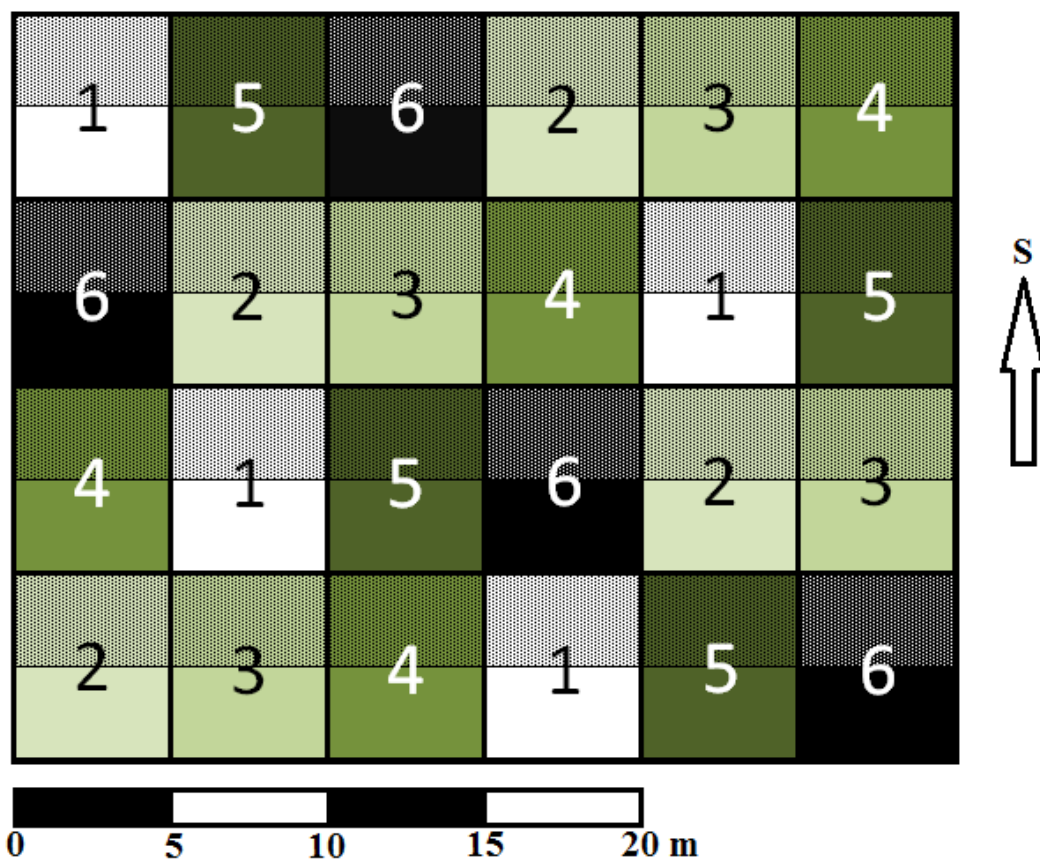
4.1 Charakteristika stanoviště

Experimentální pozemek se nachází u obce Černíkovice (49°46'27"N, 14°34'52"E), okres Benešov. Stanoviště se nachází 363 m n. m. a jeho průměrná roční teplota je 8,1 °C. Průměrný roční úhrn srážek činí 600 mm. Půda pozemku je hlinitá, fluvizem glejová. Jedná se o úrodnou údolní louku mezofytního až mezohygrofytního charakteru s průměrnou hloubkou hladiny podzemní vody v 0,55 m. Přibližně 5 metrů od severní hranice pokusné parcely protéká malý potok.

4.2 Založení a design pokusu

Pokus byl založen v roce 1966. Tvoří ho znáhodněné bloky šesti variant ve čtyřech opakováních (Obr. 1). Rozloha jednotlivých sledovaných bloků je 5 x 3 m. Bloky jsou tvořeny variantami: nehnojená kontrola, hnojeno PK, hnojeno N₅₀PK kg/ha, hnojeno N₁₀₀PK kg/ha, hnojeno N₁₅₀PK kg/ha a hnojeno N₂₀₀PK kg/ha. Fosfor a draslík je podáván vždy ve stejném množství P=40 kg/ha, K=100 kg/ha. Aplikace N probíhá každoročně na jaře ledkem amonným s přísádkem vápence (NH₄NO₃ + CaCO₃). Aplikace P probíhá každoročně na podzim ve formě superfosfátu (Ca(H₂PO₄)₂ + CaSO₄) a aplikace K probíhá také každoročně na podzim ve formě draselné soli (KCl + NaCl). Na pokusném pozemku se dále sleduje reziduální vliv hnojení (R) z minulých let, který není součástí tohoto pokusu.

Obr. 1: Schéma pokusu s TTP v Černíkovcích



1	kontrola	1	R-kontrola
2	PK	2	R-PK
3	N ₅₀ PK	3	R-N ₁₀₀ PK
4	N ₁₀₀ PK	4	R-N ₂₀₀ PK
5	N ₁₅₀ PK	5	R-N ₃₀₀ PK
6	N ₂₀₀ PK	6	R-N ₄₀₀ PK

Variety znázorňující dlouhodobé hnojení se nacházejí vždy ve spodní části bloku. Variety s reziduálním vlivem hnojení z minulých let se nacházejí vždy v horní části bloku a jsou znázorněny jemným tečkováním.

4.3 Stanovení výnosů nadzemní biomasy

V bakalářské práci byly vyhodnoceny varianty bez hnojení (kontrola), varianta s dávkou 50 kg N/ha/rok ($N_{50}PK$) a varianta s nejvyšší dávkou 200 kg N/ha/rok ($N_{200}PK$). Sledování výnosů nadzemní biomasy se uskutečnilo ve třech sečích za rok. První seč proběhla 21. června, druhá seč 12. srpna a poslední třetí seč 7. října. Samotné sečení bylo provedeno prstovou žací lištou MF – 70 (šířka lišty 140 cm) vždy ve středním pásu bloku. Posečený pás jednoho bloku tvoří 7 m². Porost byl posekán na výšku strniště přibližně 5 cm. Posečená biomasa ze sledovaných bloků byla ihned zvážena. Z každého bloku byl dále odebrán průměrný vzorek biomasy a v laboratoři stanoven obsah sušiny. Biomasa byla sušena při 60 °C po dobu, dokud nebylo dosaženo konstantní hmotnosti vzorku. Po dosažení konstantní hmotnosti vzorku byla jeho hmotnost přepočtena na výnos suché hmoty v t/ha.

4.4 Stanovení produkce bioplynu

První seč vykazovala přes 52 % výnosů biomasy z celkového množství získaného ze všech tří sečí. Vzhledem k tomuto faktu byly provedeny testy na výtěžnost bioplynu právě pouze u první seče. Výtěžnost bioplynu (ml/g) byla zkoumána u tří variant (kontrola, $N_{50}PK$, $N_{200}PK$). Každá ze tří variant měla čtyři opakování. Ze čtyř opakování každé varianty byl vytvořen směsný vzorek pro každou variantu. U směsných vzorků bylo provedeno pět samostatných opakování testu na výtěžnost bioplynu. Samotná výtěžnost bioplynu z biomasy sledovaných porostů byla stanovena laboratorně pomocí jednorázových anaerobních batch testů. Bylo použito metody objemového měření produkce plynu, které je založeno na principu měření objemu kapaliny plynem vytlačené. Testy probíhaly v skleněných lahvích o objemu 120 ml, do nichž bylo nadávkováno 3,2 g čerstvé hmoty, dále 30 g inokula a objem byl doplněn do 80 g demineralizovanou vodou. Lahvičky byly opatřeny gumovým septem zajištěným šroubovací maticí. Kultivace vzorků probíhala v termoboxu, v mezofilních podmínkách, při teplotě 40 ± 1 °C po dobu 90 dnů. Produkce bioplynu směsných vzorků byla průběžně měřena na plynoměrné byretě (Tab. 2). Po celém proběhnutí batch testů byla získána substrátová výtěžnost bioplynu (kap. 3.3.4.1). Pro stanovení výtěžnosti bioplynu z jednotky plochy byla substrátová výtěžnost bioplynu každé ze zkoumaných variant vynásobena celkovým výnosem sušiny z bloku odpovídající stejně hnojené variantě a přepočtena na m³/ha.

Tab. 2: Přehled termínů měření substrátové výtěžnosti bioplynu a délky trvání batch testů, 2013

datum měření	délka trvání [dny]
25. 6.	0
26. 6.	1
27. 6.	2
28. 6.	3
30. 6.	5
1. 7.	6
2. 7.	7
3. 7.	8
4. 7.	9
5. 7.	10
6. 7.	11
8. 7.	13
10. 7.	15
11. 7.	16
13. 7.	18
16. 7.	21
19. 7.	24
22. 7.	27
30. 7.	35
6. 8.	42
13. 8.	49
26. 8.	62
24. 9.	90

4.5 Statistické vyhodnocení výsledků

Statistické hodnocení dat bylo provedeno v programu Statistica 12. K vyhodnocení dat byla použita jednofaktorová a vícefaktorová analýza rozptylu s interakcemi (Tukey HSD test, $\alpha=0,05$).

5 Výsledky

5.1 Výnosy nadzemní biomasy

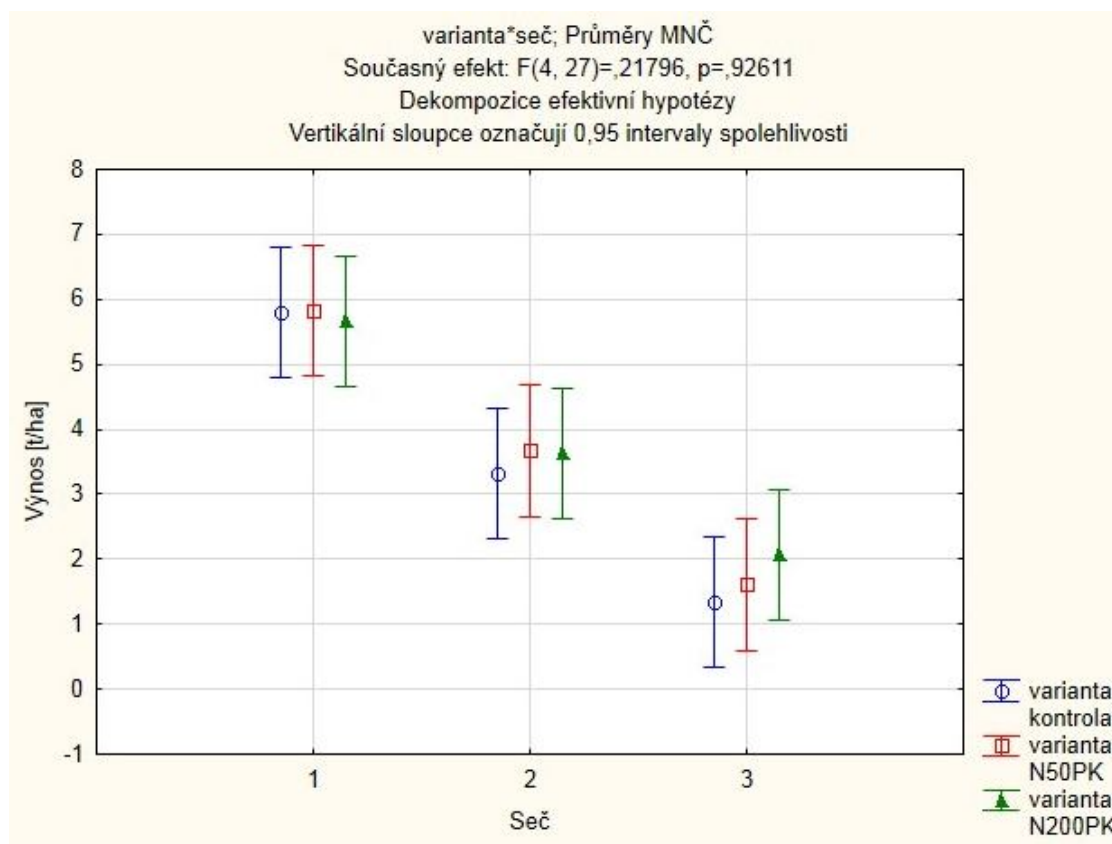
První seč tvořila 52, 6 % výnosů (průměr 5,76 t/ha), druhá seč 32, 2 % výnosů (průměr 3,53 t/ha) a třetí seč 15, 2 % výnosů (průměr 1,67 t/ha) sušiny. První seč je tak nejvýznamnější ze všech tří sečí vzhledem k množství získané biomasy. S postupujícím termínem seče docházelo ke snížení výnosů biomasy.

Tab. 3: Vliv hnojení na výnosy travní biomasy ($t_{\text{sušiny}}/\text{ha}$), Černíkovice, 2013

hnojení	1. seč	2. seč	3. seč	celkový výnos
(kg/ha)	(t/ha)			
N ₀ P ₀ K ₀	5,79	3,31	1,35	10,45
N ₅₀ P ₄₀ K ₁₀₀	5,82	3,67	1,61	11,1
N ₂₀₀ P ₄₀ K ₁₀₀	5,66	3,62	2,06	11,34

Z tabulky 3 je patrné, že s vyššími dávkami hnojiva roste i celkový výnos sušiny TTP. Přesto se nejedná o statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými variantami. U první seče dokonce vykazovala nehnojená varianta vyšší výnosy suché biomasy, než bylo naměřeno u varianty s nejvyšší dávkou hnojiva (N₂₀₀PK).

Graf 6: Statistické vyhodnocení výnosů sušiny (t/ha) v závislosti na hnojení a termínu seče, Černíkovice, 2013

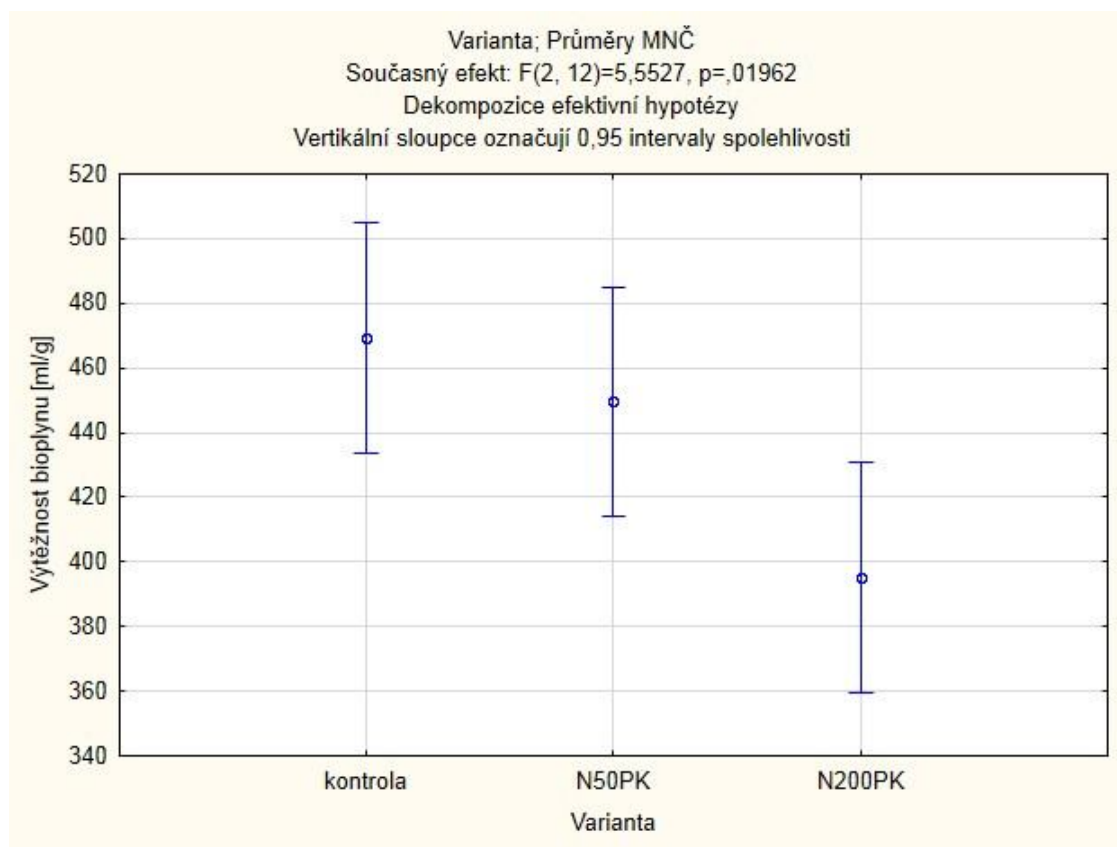


Statistické vyhodnocení dat (Graf 6) dokazuje, že na množství získané biomasy má průkazný vliv termín seče. Oproti tomu množství dodaného hnojiva nemělo na výnosy biomasy průkazný vliv. V případě výnosů biomasy v závislosti na termínu seče je hodnota $p(0,000^*) < \alpha(0,05)$, není tak přijata nulová hypotéza a rozdíly výnosů biomasy a termínu seče jsou statisticky průkazné. Naopak v případě výnosů biomasy v závislosti na množství dodaného hnojiva je hodnota $p(0,75) > \alpha(0,05)$. Je tak přijata nulová hypotéza a nejsou statisticky průkazné rozdíly výnosů biomasy a množství dodaného hnojiva.

5.2 Substrátová výtěžnost bioplynu

Průměrný substrátový výtěžek bioplynu u nehnojené varianty činil 469,3 ml/g_{sušiny}. U varianty N₅₀PK dosahovala hodnota průměrného výtěžku bioplynu 449,5 ml/g_{sušiny} a u nejvyššího množství dodaného hnojiva (N₂₀₀PK) byl výtěžek bioplynu 395,2 ml/g_{sušiny}. S vyšším množstvím dodaného hnojiva klesala substrátová výtěžnost bioplynu.

Graf 7: Statistické vyhodnocení substrátové výtěžnosti bioplynu (ml/g) v závislosti na množství dodaného hnojiva, Černíkovice, 2013



Statistické vyjádření (Graf 7) udává, že hodnota p ($0,01962$) $< \alpha$ ($0,05$), proto není přijata nulová hypotéza. Jsou tak statisticky průkazné rozdíly mezi substrátovou výtěžností bioplynu ze vzorku sušiny TTP a množstvím hnojiva, jakým byl TTP hnojen.

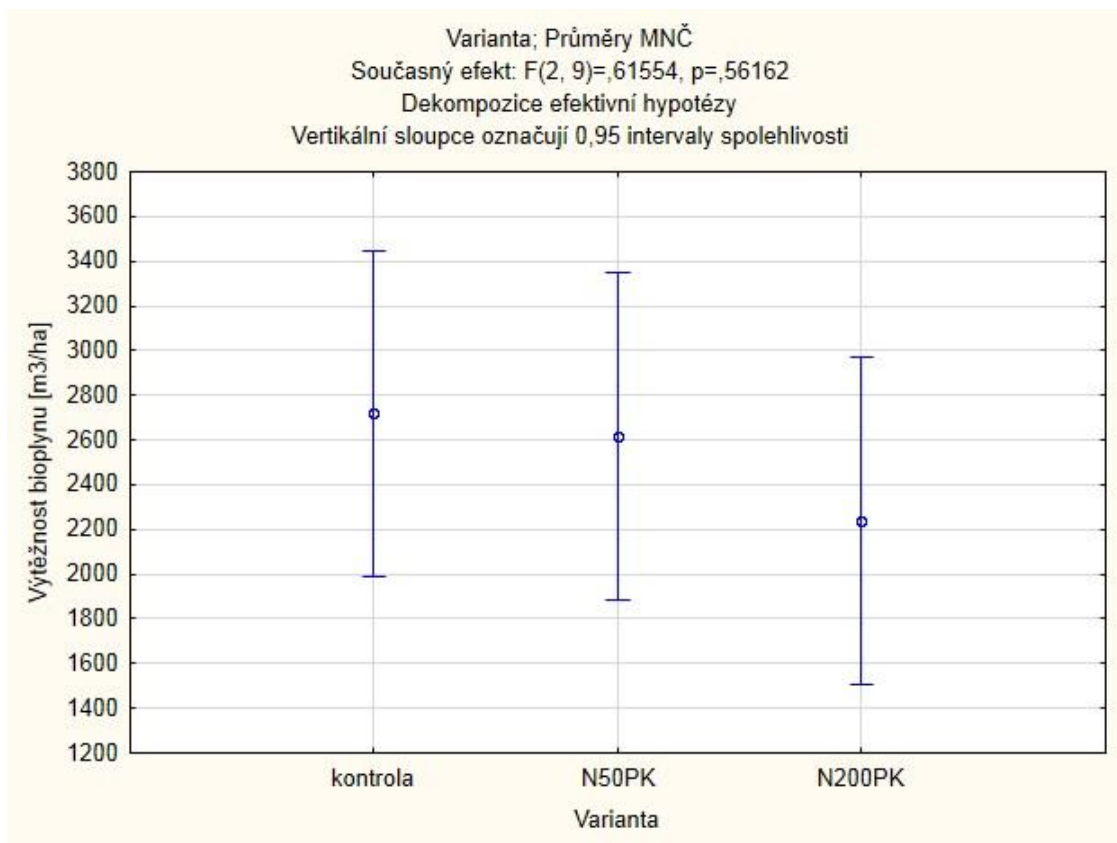
- Mezi nehnojenou variantou a variantou N₅₀PK je hodnota p ($0,68^*$) $> \alpha$ ($0,05$), nejsou tak statisticky průkazné rozdíly mezi těmito variantami.
- Mezi variantou N₅₀PK a variantou N₂₀₀PK je hodnota p ($0,09^*$) $> \alpha$ ($0,05$), nejsou tak mezi těmito variantami průkazné statistické rozdíly.
- Mezi nehnojenou variantou a variantou s nejvyšší dávkou hnojiva (N₂₀₀PK) vychází hodnota p ($0,02^*$) $< \alpha$ ($0,05$). Mezi těmito variantami je tak statisticky významný rozdíl.

5.3 Výtěžnost bioplynu z jednotky plochy

Průměrný výtěžek bioplynu z jednotky plochy činil 2717,7 m³/ha u nehnojené varianty. U varianty N₅₀PK byla hodnota průměrného výtěžku bioplynu 2614,9 m³/ha. Varianta

s nejvyšší hodnotou dodaného hnojiva N₂₀₀PK dosahovala průměrného výtěžku bioplynu z jednotky plochy 2236,5 m³/ha. S vyšším množstvím dodaného hnojiva klesal výtěžek bioplynu z jednotky plochy.

Graf 8: Statistické vyhodnocení výtěžnosti bioplynu z jednotky plochy (m³/ha) v závislosti na množství dodaného hnojiva, 2013, Černíkovice



Statistické vyhodnocení dat (Graf 8) dokazuje, že hodnota p (0,56*) > alfa (0,05), proto je přijata nulová hypotéza. Nejsou tak statisticky průkazné rozdíly (mezi žádnou z variant) mezi výtěžností bioplynu z jednotky plochy TTP a množstvím hnojiva, jakým byl TTP hnojen.

6 Diskuze

6.1 Výnosy nadzemní biomasy

Výsledky tohoto experimentu jsou pokračováním experimentu na pozemku Černíkovice. Jak vychází najevo z výsledků z minulých let (1967 – 2006), docházelo vlivem aplikace vyšší dávky živin k úměrnému navýšení výnosů biomasy (Honsová *et al.*, 2007). V letech 2007 – 2009 byl pak rozdíl ve výnosech biomasy v první seči mezi nehnojenou variantou a variantou hnojenou $N_{150}P_{40}K_{100}$ více než 100% nárůst biomasy ve prospěch hnojené varianty (Fuksa *et al.*, 2012). Nejdůležitější z dodaných živin je dusík. Má podstatný vliv na vyšší výnosy biomasy. Je však nutné brát v potaz stanovištní podmínky a k tomu jeho aplikaci přizpůsobit. Výrazné navýšení výnosů biomasy, především pak v první seči, souvisí s aplikací celé dávky N před první sečí.

Z výsledků z roku 2013 (Tab. 3) je patrné, že zvýšená dávka hnojení neměla téměř žádný vliv na nárůst biomasy. U nejvyšší dávky živin $N_{200}P_{40}K_{100}$ bylo dokonce v první seči dosaženo nižšího výnosu biomasy, než tomu bylo u nehnojené varianty, což je v rozporu s výsledky Honsová *et al.* (2007) a Fuksa *et al.* (2013) z dřívějších let. Tyto výrazné rozdíly mohly být zapříčiněny jedním z několika faktorů, nebo vzájemnou kombinací některých z faktorů.

Louka, na které se nachází experimentální stanoviště, je mezofytního, až mezohygrofytního charakteru. Jaro, kdy bylo aplikováno N hnojivo, bylo v oblasti Černíkovice roku 2013 podle meteorologických údajů srážkově nadprůměrné. Mohlo tak dojít k částečnému odplavení dusíku z místa jeho aplikace. Tuto domněnku potvrzují Mrkvička a Veselá (2001). Zmiňují, že nevhodné a extrémní klimatické i půdní podmínky a vodní režim stanoviště výrazně snižují produkční účinnost živin z dodaných hnojiv.

Při první seči byla část experimentálního pozemku výrazně nasáklá vodou. Především pak jeden z bloků varianty $N_{200}PK$. Mohlo tak dojít k ovlivnění výsledků zapříčiněné polehnutím porostu. Současně s polehnutím porostu mohl být odebrán nereprezentativní vzorek obsahující větší množství kopřivy. Kopřiva pak mohla způsobit nižší průměrný obsah sušiny odebraného vzorku, což se projevilo při následném výpočtu výnosu sušiny z jednotky plochy.

Nejpravděpodobnější faktor zapříčiňující nulový efekt vlivu hnojení na výnosy při první seči v roce 2013 byl zřejmě opožděný termín první seče. V minulých letech probíhala první seč porostu zpravidla na přelomu května a června. V roce 2013 byla první seč porostu

provedena až 21. června. Hnojený porost tak mohl dosáhnout svých maximálních výnosů již delší dobu před termínem první seče. Mezitím co hnojený porost stagnoval po maximálním nárůstu biomasy, dosáhl nehnojený porost svého maximálního nárůstu biomasy také. Vlivem časové prodlevy tak došlo k vyrovnání výnosů biomasy mezi hnojenou a nehnojenou variantou. Tento fakt koresponduje s výsledky Amon *et al.* (2007), tedy že načasování první seče je pro celkové výnosy biomasy travního porostu klíčové.

6.2 Substrátová výtěžnost bioplynu

Substrátová výtěžnost bioplynu je dána chemickým složením fermentované biomasy. Spolu s termínem sklizně a druhovým složením je chemické složení porostu dané také množstvím dodaných živin. Z výsledků je patrné, že úroveň hnojení měla statisticky významný vliv na substrátovou výtěžnost bioplynu. S vyšší dávkou aplikovaného hnojiva klesala substrátová výtěžnost bioplynu. K podobnému závěru dospěli také Kacprzak *et al.* (2012), tedy, že při nejvyšší dávce dodaných živin bylo dosaženo nejnižší výtěžnosti bioplynu. Allison *et al.* (2012) uvádějí, že při aplikaci zejména dusíkatých hnojiv může dojít ke zvýšení obsahu ligninu, celulózy a vlákniny v buněčné stěně rostlin. Vyšší podíl těchto látek v buněčné stěně rostlin pak může negativně ovlivnit proces anaerobní digesce a snížit substrátovou výtěžnost bioplynu. Výsledky Allison *et al.* (2012) tedy potvrzují výsledky pokusu.

Hejzman *et al.* (2007) uvádějí, že dodáním živin dochází ke změnám v druhovém složení porostu. Množství dodaných živin tedy mohlo zapříčinit nejen změny v chemickém složení buněčných stěn jednotlivých rostlin, ale také změny v chemickém složení porostu zapříčiněné změnou jeho druhové skladby. Prochnow *et al.* (2009) shrnuje vliv rozdílných rostlinných druhů na substrátovou výtěžnost bioplynu. Lze proto předpokládat, že změna v druhovém složení způsobená rozdílnou aplikací živin mohla způsobit také změnu v substrátové výtěžnosti bioplynu. Kaiser a Gronauer (2007), cit in. Prochnow *et al.* (2009) dodávají, že kolísání substrátové výtěžnosti bioplynu mezi odrůdami jednoho druhu trav většinou překročilo širší kolísání substrátové výtěžnosti bioplynu mezi samotnými travními druhy.

Dalším faktorem, který mohl ovlivnit získané výsledky je stupeň zralosti travního porostu. Pokus provedený McEniry a O'Kiely (2013) dokazuje, že u travního porostu došlo vlivem oddalující se sklizně ke zvýšení obsahu vlákniny a snížení obsahu bílkovin spolu s vodou rozpustnými sacharidy. Vlákna tvořená převážně hemicelulózou a ligninem je při

anaerobní digesce obtížně rozkládána. To má za následek nižší substrátovou výtěžnost bioplynu (Shiralipour a Smith, 1984). Porost hnojený dávkou N₂₀₀PK a N₅₀PK pravděpodobně dosáhl svých maximálních výnosů a stupně zralosti již delší dobu před termínem první seče, která byla v roce 2013 opožděná. Poté hnojený porost stagnoval a docházelo k zvyšování poměru vlákniny v rostlinách. Oproti tomu porost bez přidaného hnojení obsahoval vlivem pomalejšího růstu menší množství vlákniny v termínu první seče. Proto je pravděpodobné, že při první seči obsahoval hnojený porost větší množství vlákniny, která způsobila jeho nižší substrátovou výtěžnost bioplynu. Amon *et al.* (2007) potvrzuje významnou závislost výnosů metanu z biomasy TTP na stupni jejich zralosti.

6.3 Výtěžnost bioplynu z jednotky plochy

Výtěžnost bioplynu z jednotky plochy je kromě chemického složení závislá také na množství sklizené biomasy. Výtěžnost bioplynu z jednotky plochy je tak dána výnosem nadzemní biomasy a substrátovou výtěžností bioplynu této biomasy. V tomto ohledu hraje opět důležitou roli botanické složení travního porostu. Pokus provedený Kaiser a Gronauer (2007), cit in. Prochnow *et al.* (2009) prokázal, že výnosy biomasy jednotlivých druhů a odrůd trav měly větší vliv na výtěžnost bioplynu z jednotky plochy, než na substrátovou výtěžnost bioplynu.

Amon *et al.* (2007) dospěli k závěru, že výtěžnost bioplynu z jednotky plochy se zvyšuje spolu s počtem sečí a hnojením. Tyto výsledky však nebyly na experimentálním stanovišti v oblasti Černíkovice v roce 2013 potvrzeny. Nebyly zde zjištěny statisticky průkazné rozdíly mezi výtěžností bioplynu z jednotky plochy TTP a množstvím dodaného hnojiva. S vyššími aplikovanými dávkami živin došlo naopak k nižším výnosům bioplynu z jednotky plochy. Je však nutné brát v potaz výsledky z výnosů nadzemní biomasy, které byly v roce 2013 silně ovlivněny již zmíněnými faktory a které mají také významný vliv na výtěžnost bioplynu z jednotky plochy.

7 Závěr

Přeměna biomasy TTP na bioplyn je vzhledem k současným a budoucím tendencím, kdy dochází k rozšiřování ploch s TTP, vhodný způsob energetického využití při zachování důležitých funkcí TTP. Zásadním přínosem anaerobní digesce je ekologický způsob získávání energie. Klíčový je přitom vhodný způsob obhospodařování travního porostu, díky kterému lze dosáhnout podstatně vyšších výnosů biomasy a bioplynu. Především v případě, kdy je dobře zvolena první seč a dávka živin, lze dosáhnout vyšší substrátové výtěžnosti bioplynu a výtěžnosti bioplynu z jednotky plochy.

Z výsledků vlastní experimentální práce vyplývá, že s rostoucím množstvím dodaných živin došlo k průkaznému snížení substrátové výtěžnosti bioplynu z biomasy TTP hnojeného vysokou dávkou N (200kg/ha). Naopak na výtěžnost bioplynu z jednotky plochy nemělo množství dodaných živin významný vliv. U výtěžnosti bioplynu z jednotky plochy hraje důležitou roli kromě substrátové výtěžnosti bioplynu také množství získané biomasy. Výnos biomasy byl v roce 2013 negativně ovlivněn pozdní první sečí a nepříznivými půdně – klimatickými podmínkami.

8 Seznam literárních zdrojů

- Allison, G.G., Morris, C., Lister, S.J., Barraclough, T., Yates, N., Shield, I., Donnison, L.S. 2012. Effect of nitrogen fertiliser application on cell wall composition in switchgrass and reed canary grass. *Biomass and Bioenergy*. 40. 19-26.
- Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Machmüller, A., Hopfner-Sixt, K., Bodiroza, V., Hrbek, R., Friedel, J., Pötsch, E., Wagentristl, H., Schreiner, M., Zollitsch, W. 2007. Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations. *Bioresource Technology*. 98 (17). 3204-3212.
- Barakat, A., de Vries, H., Rouau, X. 2013. Dry fractionation process as an important step in current and future lignocellulose biorefineries: A review. *Bioresource Technology*. 134. 362-373.
- Benda, V., Doležalová, H., Dušička, P., Hansian, D., Jevič, P., Matuška, T., Myslík, V., Pastorek, Z., Stupavský, V., Šejvl, R., Šrefl, J., Šulek, P. 2012. *Obnovitelné zdroje energie*. Profi Press. Praha. p. 208. ISBN: 978-80-86726-48-9.
- Bílek, M., Žáková, I. 1999. Využití pastvy ovčí k údržbě a obnově travních porostů v chráněných územích. *Farmář*. 2. 50-51.
- Blokhina, Y.N., Prochnow, A., Plöchl, M., Luckhaus, C., Heiermann, M. 2011. Concepts and profitability of biogas production from landscape management grass. *Bioresource Technology*. 102 (2). 2086-2092.
- Boulamanti, A.K., Maglio, S.D., Giuntoli, J., Agostini A. 2013. Influence of different practices on biogas sustainability. *Biomass and Bioenergy*. 53 (zvláštní vydání). 149-161.
- Ceotto, E., 2008. Grasslands for bioenergy production. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 28 (1). 47-55.
- Eikmeyer, F.G., Köfinger, P., Poschenel, A., Jünemann, S., Zakrzewski, M., Heintz, S., Mayrhofer, E., Grabherr, R., Pühler, A., Schwab, H., Schlüter, A. 2013. Metagenome analyses reveal the influence of the inoculant *Lactobacillus buchneri* CD034 on the microbial community involved in grass ensiling. *Journal of Biotechnology*. 167 (3). 334-343.
- Fiala, J., Gaisler, J. 1999. *Obhospodařování travních porostů pícninářsky nevyužívaných*. Metodiky pro zemědělskou praxi. Praha. p. 38. ISBN: 80-7271-029-X.
- Fuksa, P., Hakl, J., Hrevušová, Z., Šantrůček, J., Gerndtová, I., Habart, J. 2012. Utilization of permanent grassland for biogas production. In: Sahin, A.S. (ed.). *Modeling and optimization of renewable energy systems*. InTech. Rijeka. p. 298. ISBN: 978-953-51-0600-5.

- Frame, J. 2000. Improved Grassland Management. Farming Press. Tonbridge, United Kingdom. p. 351. ISBN: 0-85236-543-8.
- Frydrych, J., Macháč, R., Volková, P., Andert, D., Gerndtová, I., Juchelková, D., Zajonc, O. 2012. Výzkum využití travních porostů na produkci bioplynu. *Agritech Science*. 12 (3). 1-6.
- Guo, Q., Berry, W.L. 1998. Species richness and biomass: Dissection of the hump-shaped relationships. *Ecology*. 79 (7). 2555-2559.
- Hejcman, M., Klauisová, M., Schellberg, J., Honsová, D. 2007. The rengen grassland experiment: Plant species composition after 64 years of fertilizer application. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 122 (2). 259-266.
- Hendriks, A.T.W.M., Zeeman, G. 2009. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*. 100 (1). 10-18.
- Herrmann, C., Heiermann, M., Idler, C. 2011. Effects of ensiling, silage additives and storage period on methane formation of biogas crops. *Bioresource Technology*. 102 (8). 5153-5161.
- Honsová, D., Hejcman, M., Klauisová, M., Pavlů, V., Kocourková, D., Hakl, J. 2007. Species composition of an alluvial meadow after 40 years of applying nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer. *Preslia*. 79 (3). 245-258.
- Hopkins, A., Holz, B. 2006. Grassland for agriculture and nature conservation: production, quality and multi-functionality. *Agronomy Research*. 10 (konference). 3-20.
- Chandra, R., Takeuchi, H., Hasegawa T. 2012. Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biocel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16 (3). 1462-1476.
- Jančovič, J., Vozár, L., Jančovičová, L., Petřiková, S. 2004. Effect of fertilization renovation on the production capacity of permanent grassland. *Plant soil and environment*. 50 (3). 129-133.
- Jarvis, S.C. 2000. Progress in studies of nitrate leaching from grassland soils. *Soil Use and Management*. 16 (1). 152-156.
- Kacprzak, A., Matyka, M., Krzystek, L., Ledakowicz, S. 2012. Evaluation of biogas collection from reed canary grass, depending on nitrogen fertilisation levels. *Chemical and Process Engineering*. 33 (4). 697-701.
- King, C., McEniry, J., Richardson, M., O'Kiely, P. 2012. Yield and chemical composition of five common grassland species in response to nitrogen fertiliser application and phenological growth stage. *Agriculturae Scandinavica section b-soil and Plant Science*. 62 (7). 644-658.

- Liebisch, F., Bünemann, E.K., Huguenin-Elie, O., Jeangros, B., Frossard, E., Oberson, A. 2013. Plant phosphorus nutrition indicators evaluated in agricultural grasslands managed at different intensities. *European Journal of Agronomy*. 44. 67-77.
- Lötjönen, T., Paappanen, T. 2013. Bale density of reed canary grass spring harvest. *Biomass and Bioenergy*. 51. 53-59.
- Lepš, J. 1999. Nutrient status, disturbance and competition: an experimental test of relationships in a wet meadow. *Journal of Vegetation Science*. 10 (2). 219-230.
- Malhi, S.S., Nyborg, M., Soon, Y.K. 2010. Long-term effects of balanced fertilization on grass forage yield, quality and nutrient uptake, soil organic C and N, and some soil quality characteristics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 86 (3). 425-438.
- McEniry, J., O'Kiely, P. 2013. Anaerobic methane production from five common grassland species at sequential stages of maturity. *Bioresource Technology*. 127. 143-150.
- Mrkvička, J., Veselá, M. 2001. Vliv různých forem hnojení na botanické složení a výnosový potenciál travních porostů. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. p. 26. ISBN: 80-7271-0.
- Mshandete, A., Björnsson, L., Kivaisi, A.K., Rubindamayugi, M.S.T., Mattiasson, B. 2006. Effect of particle size on biogas yield from sisal fibre waste. *Renewable Energy*. 31 (14). 2385-2392.
- Murphy, J.D., Power, N.M., 2009. An argument for using biomethane generated from grass as a biofuel in Ireland. *Biomass and Bioenergy*. 33 (3). 504-512.
- Orozco, A.M., Nizami, A.S., Murphy, J.D., Groom, E. 2013. Optimizing the thermophilic hydrolysis of grass silage in a two-phase anaerobic digestion system. *Bioresource Technology*. 143. 117-125.
- Pakarinen, O., Lehtomäki, A., Rissanen, S., Rintala, J. 2008. Storing energy crops for methane production: Effects of solids content and biological additive. *Bioresource Technology*. 99 (15). 7074-7082.
- Prochnow, A., Heiermann, M., Plöchl, M., Linke, B., Idler, C., Amon, T., Hobbs, P.J. 2009b. Bioenergy from permanent grassland – A review: 1. Biogas. *Bioresource Technology*. 100 (21). 4931-4944.
- Rychnovská, M., Balátová-Tuláčková, E., Úlehová, B., Pelikán, J. 1985. Ekologie lučních porostů. Academia Praha. Praha. p. 291.
- Shiralipour, A., Smith, P.H. 1984. Conversion of biomass into methane gas. *Biomass*. 6 (1-2). 85-92.

- Socher, S.A., Prati, D., Boch, S., Müller, J., Klaus, V.H., Hölzel, N., Fischer, M. 2012. Direct and productivity-mediated indirect effects of fertilization, mowing and grazing on grassland species richness. *Journal of Ecology*. 100 (6). 1391-1399.
- Soussana, J.F., Tallec, T. 2010. Can we understand and predict the regulation of biological N₂ fixation in grassland ecosystems? *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 88 (2). 197-213.
- Straka, F., Cíahotný, K., Dohányos, M., Jeníček, P., Kajan, M., Lacek, P., Zábranská, J. 2010. *Bioplyn. Gas. Praha*. p. 305. ISBN: 978-80-7328-235-6.
- Taube, F., Hermann, A., Pötsch, E.M., 2007. What are the consequences of producing energy crops in the European Union for grassland renovation and new forage production systems? *Grassland Science in Europe*. 12. 463-471.
- Tilvikiene, V., Venslauskas, K., Navickas, K., Župerka, V., Dabkevičius, Z., Kadžiulienė, Z. 2012. The biomass and biogas productivity of perennial grasses. *Zemdirbyste-Agriculture*. 99 (1). 17-22.
- Valkama, E., Uusitalo, R., Ylivainio, K., Virkajärvi, P., Turtola, E. 2009. Phosphorus fertilization: A meta-analysis of 80 years of research in Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 130 (3-4). 75-85.
- Weiland, P. 2006. Biomass digestion in agriculture: a successful pathway for the energy production and waste treatment in Germany. *Engineering in Life Sciences*. 6 (3). 302-309.
- Weiland, P. 2010. Biogas production: current state and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 85 (4). 849-860.

9 Seznam internetových zdrojů

EUROSTAT, European Commission [cit. 2013-28-04]. Dostupné z <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Glossary:Permanent_grassland>.

FAOSTAT, The Statistics Division of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. [cit. 2013-28-04]. Dostupné z <<http://faostat.fao.org/>>.

Prochnow, A., Heiermann, M., Drenckhan, A., Schelle, H. 2005. Seasonal pattern of biomethanisation of grass from landscape management. Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal. Manuscript EE 05 011. [cit. 2014-28-01]. Dostupné z <<http://hdl.handle.net/1813/10440>>.