

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

Katedra geoenvironmentálních věd

Diplomová práce

**Možnosti využití biomasy z ladem ležících ploch jako
substrát pro výrobu bioplynu**

Vedoucí práce: Mgr. Lukáš Trakal Ph.D.

Diplomant: Bc. Valentin Mertl

2014

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra geoenvironmentálních věd

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Mertl Valentin

Regionální environmentální správa - kombinované Karlovy Vary

Název práce

Možnosti využití biomasy z ladem ležících ploch jako substrát pro výrobu bioplynu

Anglický název

Posibilities of biomass lying fallow as a substrate for biogas production

Cíle práce

Cílem diplomové práce je zhodnotit možnost použití biomasy z ladem ležících ploch jako substrátu pro výrobu bioplynu v bioplynových stanicích.

Porovnat využití biomasy z ladem ležících ploch s konvenčně používanou energetickou biomasou (kukuřice, čirok, atd.)

Metodika

V literární rešerši diplomant shrne současný stav v oblasti výroby bioplynu, popíše bioplynové stanice a procesy v nich probíhající, zaměří se především na využívané substráty pro fermentační procesy, a to a) tradiční, b) netradiční a c) potenciální (nové možnosti).

V rámci vlastní části srovná anaerobní fermentaci běžně využívaného substrátu (kukuřičné siláže) s fermentací netradiční energetické plodiny a fermentací biomasy z ladem ležících ploch - v čerstvém stavu a v silážovaném stavu rostlin z těchto ploch. Zhodnocení produkce bioplynu provede na základě zjištění obsahu metanu, CO₂ a O₂. Při laboratorních pracech bude spolupracovat s VURV Praha (detašované pracoviště Chomutov). Závěrem provede statistické vyhodnocení, uvede případné výhody a nevýhody těchto variant a další možnosti využití.

Harmonogram zpracování

VI. - X./2013 Studium literárních zdrojů, vypracování literární rešerše

VII. - XII./2013 Laboratorní práce (VURV Praha - det.prac.Chomutov)

XI./2013 Předložení první verze literární rešerše, konzultace

I./2014 Oprava literární rešerše, zápočet ZS

I. - II./2014 Vyhodnocení výsledků laboratorních prací,

II./2014 Předložení ucelené verze DP, konzultace, oprava

III./2014 Zápočet LS

IV./2014 Odevzdání DP

Rozsah textové části

Literární rešerše 20 - 30 stran, vlastní část 30 stran, jinak dle potřeby

Klíčová slova

Biomasa, bioplyn, digestát, energetické rostliny, kogenerační jednotka

Doporučené zdroje informací

CZ BIOM - ČESKÉ SDRUŽENÍ PRO BIOMASU, VÚVR - Výzkumný ústav rostlinné výroby. Energetické a průmyslové rostliny X: sborník referátů z odborné konference Chomutov 2004. Vyd. 1. Praha: CZ-Biom, 2004. ISBN 80-865-5549-6.

ČESKÉ SDRUŽENÍ PRO BIOMASU, Výzkumný ústav rostlinné výroby. Energetické a průmyslové rostliny IX: sborník referátů z odborné konference, Chomutov 2003. Vyd. 1. Praha: CZ-Biom - České sdružení pro biomasu, 2003. ISBN 80-865-5529-1.

ČESKÉ SDRUŽENÍ PRO BIOMASU, Výzkumný ústav rostlinné výroby. Energetické a průmyslové rostliny VII: sborník referátů z odborné konference, Chomutov 2001. Vyd. 1. Praha: CZ-Biom - České sdružení pro biomasu, 2001. ISBN 80-865-5500-3.

MAROUAIEK, J., Two-fraction anaerobic fermentation of grass waste. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2013, roč. 2013, n/a-n/a. ISSN 00225142. DOI: 10.1002/jsfa.6046

PASTOREK, Z., J. KÁRA a P. JEVIČ. Biomasa: obnovitelný zdroj energie. Praha: FCC Public, 2004, 286 s. ISBN 80-865-3406-5.

SHEVLOFF, D. Briefing: Combined heat and power plants â a reality?. Proceedings of the ICE - Energy. 2013-02-01, roč. 166, č. 1, s. 3-4. ISSN 1751-4223. DOI: 10.1680/ener.11.00030.

Studia oecologica. Ústí nad Labem: SDSM.cz Ústí nad Labem, 2010, roč. 2010, č. 2. ISSN 1802-212X.

UŠŤÁK, J. Váňa a kol. Bioplynová fermentace biomasy a biologicky rozložitelných odpadů. Vyd. 1. Praha: CZ-Biom ve spolupráci s Výzkumným ústavem rostlinné výroby, 2005. ISBN 978-808-6555-

VRÁBLÍKOVÁ, J. a P. VRÁBLÍK. Metodika revitalizace krajiny v Podkrušnohoří. Vyd. 1. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2010, 67 s. ISBN 978-80-7414-340-3.

WEGER, J. a K. HAVLÍČKOVÁ. Biomasa: obnovitelný zdroj energie v krajině. Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, 2003, 51 s., [8] s. barev. obr. příl. ISBN 80-851-1632-4.

Vedoucí práce

Trakal Lukáš, Mgr., Ph.D.



doc. RNDr. Michael Komárek, Ph.D.

Vedoucí katedry



V Praze dne 20.1.2014



prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

Děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Možnosti využití biomasy z ladem ležících ploch jako substrát pro výrobu bioplynu“ vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Lukáše Trakala Ph.D., další informace mi byly poskytnuty Výzkumným ústavem rostlinné výroby Praha – detašované pracoviště Chomutov a použil jsem jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Chomutově, dne 14.4.2014

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své diplomové práce Mgr. Lukáši Trakalovi Ph.D. za cenné podněty a odborné vedení během mé práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Romanu Honzíkovi a Ing. Jakubovi Jans Muňozovi Ph.D., za cenné rady, podněty a poskytování informací k diplomové práci a dále za poskytnutí zázemí pracoviště VÚRV Chomutov a laboratorního vybavení.

V Chomutově, dne 14.4.2014

Podpis:

Abstrakt

Předmětem diplomové práce je komplexní zhodnocení možnosti využití biomasy vyprodukované z ladem ležících ploch a využití biomasy jako substrátu pro výrobu bioplynu v bioplynových stanicích. Zhodnoceny jsou zde cíle, efektivita bioplynových stanic a možnosti využití substrátu z ladem ležících ploch a srovnání efektivity a kvality bioplynu. Práce porovnává produkci bioplynu z ladem ležících ploch v několika stádiích růstu a jejich výnos s produkcí bioplynu z kukuřice a chrastice rákosovité. Produkce bioplynu je zjišťována v laboratorních podmínkách ve fermentačních reaktorech. Cílem je porovnat a ekonomicky zhodnotit využití ladem ležících ploch pro produkci biomasy vhodné k metanogenní fermentaci. Z následných výsledků provedených fermentací jsou potvrzeny výhody využití této biomasy z pohledu ekologie i ekonomie.

Klíčová slova:

Biomasa, bioplyn, digestát, energetické rostliny, kogenerační jednotka

Abstract

The subject of this Master thesis is a comprehensive evaluation of the potential of biomass produced from fallow areas (within the set-aside system) and the use of biomass as a substrate for biogas production. Evaluated are follow objectives: (i) the effectiveness of biogas plants; (ii) the possibility of substrate utilization of fallow areas; and (iii) comparison of efficiency and quality of the biogas. The work compares the production of biogas from set-aside system in several stages of growth. It also compares its return and production from corn and reed canary grass. Biogas production is determined in laboratory conditions in fermentation reactors. The aim is to compare and evaluate the economic impact of set-aside system for the production of biomass suitable for methanogenic fermentation. The results of the subsequent fermentation confirm the advantages of using the biomass from the perspective of ecology and economics.

Keywords:

Biomass, biogas, digestate, energy crops, co-generation unit

Obsah

1	Úvod	11
2	Cíl práce	12
3	Literární rešerše.....	13
3.1	Bioplyn.....	13
3.2	Biologické procesy zpracování biomasy	14
3.2.1	Hydrolyza.....	15
3.2.2	Acidogeneze	15
3.2.3	Acetogenní fáze.....	16
3.2.4	Metanogeneze.....	16
3.3	Materiály pro anaerobní zpracování	17
3.4	Faktory ovlivňující anaerobní proces	18
3.4.1	Hodnota pH	18
3.4.2	Teplota	18
3.4.3	Přítomnost nutrietů.	18
3.4.4	Toxické a inhibiční látky.	19
3.4.5	Poměr látek C:N.	19
3.5	Bioplynové stanice	19
3.5.1	Dělení bioplynových stanic podle vstupních materiálů	20
3.5.2	Dělení bioplynových stanic podle dávkování surového materiálu	20
3.6	Kogenerační jednotka.....	21
3.7	Druhotný produkt - teplo.....	22
3.8	Digestát	22
3.9	Technologické zařízení bioplynové stanice	23
4	Energetická biomasa	24
4.1	Energetické využití rostlinné biomasy.....	25
4.1.1	Energetické využití.....	25
4.2	Požadavky pro efektivní produkci plodin	26
4.3	Rostliny využitelné k tvorbě biomasy – bylinného charakteru (netradiční)	26

4.4	Zásady pěstování energetické biomasy z pohledu ochrany krajiny	27
4.5	Vybrané plodiny pro výrobu bioplynu.....	28
4.5.1	Kukuřice setá (<i>Zea mays L.</i>)	28
4.5.2	Chrastice rákosovitá (<i>Phalaris arundinacea L.</i>)	29
4.6	Ekonomické zhodnocení nákladů testovaných plodin	29
5	Metodika práce.....	32
5.1	Směšovací rovnice.....	35
6	Výsledky	36
6.1	Data a rozborů odebraných vzorků.....	36
6.2	Výsledky fermentačních procesů.....	38
6.3	Zhodnocení fermentačních výnosů.....	43
6.4	Ekonomické kalkulace	45
7	Diskuze	46
8	Závěr	48
9	Použitá literatura	50
10	Seznam tabulek a grafů	54
11	Přílohy.....	55

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

BP – bioplyn

BPEJ – bonitovaná pudně ekologická jednotka

BPS – bioplynová stanice

EU – Evropská unie

CHSK – chemická spotřeba kyslíku

KOGENERACE – kombinovaná výroba elektřiny a tepla

VÚRV – Výzkumný ústav rostlinné výroby

ZM – zemědělská mechanizace

1 Úvod

Diplomová práce je zaměřena na využití a problematiku trvalých travnatých porostů v energetice, hlavně použitím a zpracováním v zemědělských bioplynových stanicích. Ladem ležící pozemky, louky, pastviny a další travní porosty jsou důležitým faktorem v soustavě zemědělského hospodaření. Jsou důležitým prvkem v tvorbě krajiny, mají stabilizační a protierozní efekt. Vzhledem k velkému poklesu chovaného skotu a vyšší užitkovosti, narůstají plochy trvalých travních porostů bez dalšího ekonomického zhodnocení (Vráblíková, 2008). Vzniklá biomasa z těchto pozemků se stává problémem. Je nutné tyto plochy udržovat a sekat, což je také podmínka EU, která na údržbu krajiny v různých programech poskytuje finanční prostředky. Z těchto a dalších důvodů je možné využití této fytomasy zpracováním anaerobní fermentací v kombinaci i s dalšími substráty (Prochnow a kol., 2009). Může to zvýšit ekonomickou stabilitu zemědělských podniků, které bioplynové stanice provozují. V současné době je v některých zařízeních na výrobu bioplynu produkce energie mnohdy ekologicky neefektivní, protože podporuje pěstování např. kukuřice, která negativně ovlivňuje kvalitu půdy. Využití kvalitní zemědělské půdy k pěstování energetických rostlin vede ke zvyšování cen půdy a potravinářských produktů (Ust'ak, 1998). To dále může vést až k etickým, sociálním a ekonomickým problémům. Zvláště když v některých státech obyvatelstvo hladoví. To jsou hlavní důvody proč podporovat výzkum a nové technologie. Zdrojem pro tyto technologie mohou být travní porosty (Xu a kol., 2011). V rámci EU se vyvíjí projekt „DANUBENERGY“ na regionální a mezinárodní bázi. Tento projekt se zabývá studií dostupného potenciálu biomasy, která nebude ohrožovat dostupnost potravin a efektivně bude řešit problém využití méně kvalitní – odpadní biomasy, jako jsou právě travní porosty, odpadní biomasa z údržby komunikací, říčních břehů a podobně (www.danubenergy.eu, 2013). Mezi ladem ležící pozemky často patří pozemky klasifikované BPEJ jako nevhodné pro orbu, pozemky s vyšším sklonem, zaplavované údolní nivy, suché poldry, pozemky s trvale vysokou hladinou spodní vody, ochranná pásma podél vodních toků a nádrží, pozemky s obsahem skeletu (štěrkovitost, kamenitost). Dále se jedná o pozemky, které nejsou uvedeny v seznamu LPIS (veřejný registr půdy), kdy na tyto pozemky nelze čerpat dotace. V České republice je takto vyčleněno na 500.000 ha půdy (www.eagri.cz).

2 Cíl práce

Cílem diplomové práce je komplexní zhodnocení možných alternativ způsobu využití biomasy jako náhrady za fosilní paliva, zhodnocení současné dostupné technologie k využití těchto biopaliv, možnosti využití odpadní fytomasy z ladem ležících ploch, travních porostů a dalších energetických plodin.

Vlastní prací je zhodnocení možnosti využití biomasy z ladem ležících pozemků jako substrátu pro bioplynové stanice s cílem využít vedlejší produkt vznikající při údržbě těchto ploch jako ekonomicky cenný materiál. Smyslem této práce je porovnat a ekonomicky zhodnotit využití ladem ležících ploch pro produkci biomasy vhodné k metanogenní fermentaci a porovnat jí se stávajícím standardem - kukuřicí a alternativní plodinou chrsticí rákosovitou a navrhnout ekonomické využití biomasy vyprodukované při údržbě ladem ležících ploch.

3 Literární rešerše

3.1 Bioplyn

Bioplyn a vzniklé bioplynové systémy jsou energetické systémy, které mají vysoký přínos pro ochranu a tvorbu životního prostředí. Je faktem, že bioplyn nemůže zcela nahradit klasická fosilní paliva na energetickém trhu. Je však zdrojem energie, která má širokou, takřka neomezenou perspektivu použití v budoucnosti. Systémy bioplynu ve všech možných variantách fungují jako zcela obnovitelné zdroje energie, které využívají a transformují solární energii (Ochodek a kol., 2006). Název bioplyn se stal obecně známým v posledních letech 20. století, i když pokusy s ním sahají hluboko do historie (Študlar, 2007). Termín bioplyn se stal známým mezi veřejností i díky veřejným médiím, jako symbol něčeho ekologicky příznivého. Samotný význam slova „bioplyn“ naznačuje, že by se mělo jednat o plyn produkovaný blíže nespecifikovaným biologickým druhem. Jedná se o velmi početnou skupinu plyných zplodin biologických a biochemických procesů. Biochemickými cestami při rozkladech a syntézách vzniká množství jednoduchých a složitějších plyných sloučenin. Ale některé z těchto plynů nemusí být do kategorie „bioplyn“ zahrnuty. Jako příklad lze uvést třeba kyslík, ač je produkovan nejrozličnějšími rostlinami, není označen jako bioplyn. Také oxid uhličitý vznikající při etanolovém kvašení cukru je také ryze biologicky plyný produkt, ale mezi bioplyn jej nezařazujeme. Současné poznatky označily „bioplyn“ za plyný produkt anaerobní metanové fermentace organických látek, označováno také pojmy anaerobní digesce, biometanizace, biogasifikace a nebo vyhnívání (u čistírenských kalů). Obecně je termínem „bioplyn“ označována plyná směs metanu a oxidu uhličitého (Kára, 2007). V posledních letech nastává rozvoj produkce a využívání bioplynu ve velkém množství zemí celého světa. Zvláště se užívá pro kogenerační výrobu elektřiny a tepla. Takto získaná obnovitelná energie je považována za aktivní ochranu klimatu a za technologii trvale udržitelného života na naší planetě.

V základu se za bioplyn dají považovat všechny druhy plyných směsí, které vznikají činností mikroorganismů. Lze tedy konstatovat, že všechny směsi bioplynů anaerobního původu vznikají principiálně stejným způsobem, ať už probíhá metanogenní proces pod povrchem země, ve skládkách komunálních odpadů, v zaživacím traktu živočichů, nebo v řízených anaerobních reaktorech. V technické praxi se ustálil název bioplyn pro plynou směs vzniklou anaerobní fermentací

vlhkých organických látek v umělých technických zařízeních (Váňa, 2010). Bioplyn je směs plynů, s přibližným obsahem 45-60 objemových procent metanu, 38-50 objemových procent oxidu uhličitého a asi 2 objemových procent vodíku. Další plynné látky obsažené ve stopovém množství jsou sirovodík a jiné sirné a dusíkaté sloučeniny (merkaptany a amidy). Stopové koncentrace těchto látek bývají příčinou možného zápachu. Metan získaný z bioplynu se označuje jako biometan. Energetický obsah 1m^3 biometanu je přibližně 10 KWh. (Študlar, 2007). Dle dalšího zdroje výhřevnost bioplynu s obsahem kolem 60 % metanu představuje 25 MJ, což je přibližně 6,2 KWh. (Ust'ak, 1998).

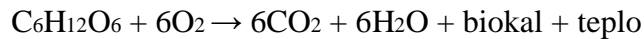
Bioplyn má všestranné použití pro různé účely. Dá se využít jako: (i) plyn k vaření a ohřevu vody; (ii) čištěný plyn k výrobě elektrické energie pro kompresi i jako pohon aut či motorů; a výsledně (iii) zbytek kvašení (digestát) se dá následně využít jako hnojivo se zbytkem organických i anorganických živin pro zlepšení kvality půdy. Po menší technické úpravě (výměně trysek) se dá bioplyn použít i v běžných plynových spotřebičích (vařiče, bojler, a podobně; Weger a Havlíčková, 2003).

3.2 Biologické procesy zpracování biomasy

Biologické procesy při zpracování biomasy vznikají zpracováním, stabilizací bioodpadu a biomateriálu použitím vhodných fermentačních procesů. U tohoto procesu rozlišujeme aerobní a anaerobní fermentaci (Váňa, 2013).

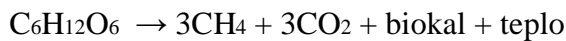
Aerobní fermentace je mikrobiální proces, kdy za přístupu vzduchu a působení vhodných kultur mikroorganismů dochází k rozkladu organických látek. Tento druh fermentace je znám z výroby kompostů. Při klasickém postupu výroby kompostu celý proces probíhá řádově měsíce. Průmyslový proces trvá dny až týdny. Při použití průmyslového aerobního procesu dojde po startu procesu k samovolnému nárůstu teploty (až k 70°C) a dochází k rychlému rozkladu organické hmoty. Konečným produktem této aerobní fermentace (za přístupu vzduchu) je hnojivý substrát, plynný CO_2 a vodní pára. Proces se řídí převrstvováním, obracením a provzdušňováním (Kára, 2007).

(modelový příklad rozkladu glukózy)



Na druhé straně anaerobní fermentace je mikrobiální proces, který probíhá bez přístupu vzduchu za optimálně řízených podmínek (pH, obsah sušiny, reakční teplota) a za působení přítomných, vhodných kultur mikroorganismů, kdy dochází k degradaci organických látek za současné produkce bioplynu, který je jímán pro další energetické využití (Kára, 2007).

(modelový příklad rozkladu glukózy)



Metanizace, nebo taky anaerobní fermentace organických materiálů, je řadou na sebe navazujících procesů, při kterých směs kultur mikroorganismů postupně rozkládá biologickou organickou hmotu bez přítomnosti vzduchu. Na rozložení organické hmoty se podílí řada základních druhů anaerobních mikroorganismů, kdy produkt jedné skupiny se stane substrátem skupiny druhé a proto porucha nebo výpadek či absence jedné ze skupin naruší celý proces. Výslednými produkty jsou plyny (CH_4 , CO_2 , N_2 , H_2 , H_2S) a nerozložitelný zůstatek organické hmoty. Ten je po tomto procesu stabilizován i z hygienického hlediska. Proces lze rozdělit na 4 základní fáze rozkladu (Mužík a Kára, 2009).

3.2.1 Hydrolýza

Tato počáteční fáze probíhá v době, kdy je ještě materiál nasycen vzdušným kyslíkem. Důležitý je také obsah vlhkosti nad 50 % hmotnostního podílu. V substrátu přítomné bakterie, přeměňují makromolekulární organické látky (např. bílkoviny, tuky, celulózu, polysacharidy) za pomoci enzymů, vyprodukovaných fermentačními druhy bakterií na monomery (monosacharidy, aminokyseliny, mastné kyseliny, vody), které jsou rozpustné ve vodě (Pastorek a kol., 2004).

3.2.2 Acidogeneze

Následující tzv. kyselá fáze. V této fázi již dochází definitivně k anaerobnímu prostředí. Jsou zde nyní rozkládány vzniklé produkty hydrolýzy na jednodušší látky (alkoholy, kyseliny, CO_2 , H_2). Tvoří se řada redukovaných produktů, které jsou závislé na skladbě původního substrátu.

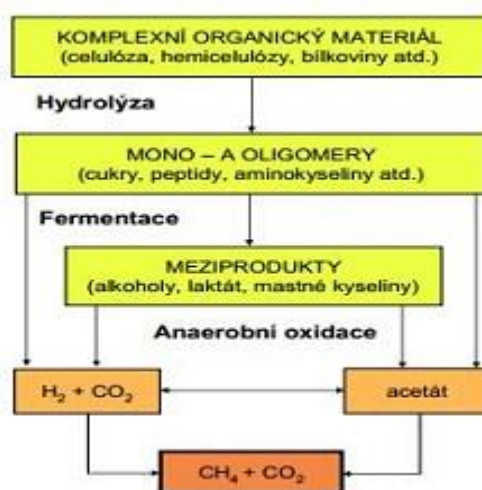
3.2.3 Acetogenní fáze

V průběhu této fáze dochází k oxidaci produktů acidogeneze na CO_2 , H_2 . Produkuje se kyselina octová, která je důležitá pro produkci metanu. Homoacetogenní organismy, které produkují kyslík, rozkládají kyselinu propionovou a ostatní organické kyseliny vyšší než kyselinu octovou, alkoholy a další aromatické sloučeniny. V menších množstvích jsou zde přítomny složky organismů (sulfátreduktanty, nitrátreduktanty), které produkují kromě vodíku a kyseliny octové také dusík a sulfan (Pastorek a kol., 2004).

3.2.4 Metanogeneze

Metanogenní organismy, nyní rozkládají některé jednoduhlíkaté látky (metanol, metylamin, kyselinu mravenčí, CO_2 , H_2 , CO), jsou důležitým faktorem celého procesu. Tyto organismy jsou hydrogenotrofní nebo pouze acetotrofní. Acetotrofní metanogenní bakterie se podílí svým působením na vzniku metanu v bioplynu více jak dvěma třetinami. Dochází k rozkladu kyseliny octové na směs metanu a CO_2 . Hydrogenotrofní metanogenní bakterie nyní produkují metan z CO_2 a H_2 . Jejich růst je rychlý (generační doba je asi 6 hodin). V tomto procesu fungují uvedené bakterie jako samoregulátor (Pastorek a kol., 2004).

Tabulka č.1 – Anaerobní proces fermentace (Jelínek, 2001)



3.3 Materiály pro anaerobní zpracování

Produkce bioplynu je závislá na obsahu organického podílu sušiny v daném materiálu. Čím více bioplynu je vyprodukováno, tím větší množství organické sušiny bude celkově odbouráno (Pastorek a kol., 2004). Vhodný obsah sušiny pro zpracování pevných odpadů je 22,0 – 25,0 %, u tekutých odpadů 8,0 – 14,0 %. Tekuté odpady s obsahem sušiny menším než 3,0 % jsou zpracovány anaerobní fermentací s negativní energetickou bilancí (proces je udržován na provozní teplotě dodáním doplňkového tepla z externího zdroje.) Maximální hranice obsahu sušiny, při které ještě probíhá anaerobní fermentace je 50,0 % (Ušťak a Váňa, 2005). Využitím běžně užívaných substrátů lze získat různé množství bioplynu, jak ukazuje tabulka č. 2,3.

Tabulka č. 2 - Produkce výkalů a množství bioplynu získaného od jednotlivých druhů zvířat (Pastorek a kol., 2004).

Kategorie	Sušina výkalů vč. moče (kg*den ⁻¹)	Výkaly celkem průměrně (kg*den ⁻¹)	Množství bioplynu (m ³ *den ⁻¹)
Hovězí dobytek (průměr)			
Dojnice (550kg)	6	60	1,7
Prasata (průměr)			
Prasnice (170kg)	1	14	0,3

Tabulka č. 3 – Produkce bioplynu získaného z různých substrátů (Váňa, 2013)

substrát	m ³ bioplynu/na 1 tunu substrátu
prasečí kejda	35
kukuřičná siláž	200
biodpad	120
zelený odpad	110
starý tuk	600
hovězí trus	25

3.4 Faktory ovlivňující anaerobní proces

3.4.1 Hodnota pH

Jeden z limitujících faktorů je malý rozsah pH, který je optimální pro růst metanogenních organismů. Většina těchto mikroorganismů požaduje pH okolo neutrální oblasti (což je 6,0 až 7,5 pH), které je důležité uvnitř reaktoru udržovat. U pH menšího než 6 a většího než 8 bývá činnost mikroorganismů silně inhibována. Nejčastěji dochází k poklesu pH přetížením reaktoru, což nastává, když jsou kyseliny vyprodukovány rychlejšími mikroorganismy, než jejich spotřeba jinými mikroorganismy a dochází k jejich hromadění v systému. Nutno uvést, že při vysoké koncentraci amoniaku není pH zcela přesným ukazatelem. Z uvedeného důvodu je vhodné řídit zatížení reaktoru dle množství a složení mastných kyselin v materiálu, aby nedocházelo ke zhroucení procesu. Jednou z možností rovnováhy systému je udržovat optimální hranici pH alkalizačními činidly (Ust'ak a Váňa, 2005).

3.4.2 Teplota

Teplota je činitel, který ovlivňuje interakce mezi jednotlivými druhy mikroorganismů. Velmi jednoduše lze konstatovat, že čím bude větší teplota, tím bude větší rychlost probíhajících procesů. Na druhou stranu, lze také konstatovat, čím bude teplota větší, tím budou bakterie citlivější na teplotní změny (Zhou a kol., 2009). Produkce metanu probíhá ve velmi širokém pásmu teplot od cca 5°C do 95°C (Mužík a Kára, 2009). Z pohledu citlivosti mikroorganismů na teplotu lze jednotlivé mikroorganismy rozdělit na následující:

- Termofilní – vyžadují teploty v rozsahu cca 45°C - 80°C.
- Mesofilní - vyžadující teploty v rozmezí cca 15°C - 45°C.
- Psychofilní - vyžadující teploty v rozmezí cca 0°C - 20°C.

3.4.3 Přítomnost nutrientů.

Faktor důležitý pro provoz reaktorů je vhodný poměr N a P vůči organickým látkám. Z produkce biomasy se užívá potřebný poměr živin jako CHSK: N: P v rozmezí 300 : 6,7 : 1 až 500 : 6,7 : 1. K dusíku a fosforu je potřeba přítomnost další řady mikronutrientů (K, Na, Ca, S, Fe, Mg, W, Se; Ust'ak, 1998).

3.4.4 Toxické a inhibiční látky.

Toxické a inhibiční látky jsou látky, které negativně ovlivňují biologický proces. Nejčastěji v procesu výroby bioplynu se setkáváme s inhibičním působením mastných kyselin a amoniaku (Ust'ak a Váňa, 2005).

3.4.5 Poměr látek C:N.

Další z faktorů pro určení vhodnosti biomasy pro anaerobní fermentaci je poměr C:N. Za vhodný se považuje poměr 30:1. Rozdílný poměr dusíkatých látek k látkám uhlíkatým se může následně projevit negativně ve složení produkovaného bioplynu. Mezi látky s vysokým obsahem dusíku patří exkrementy hospodářských zvířat. K látkám s vysokým obsahem uhlíku patří materiály rostlinného původu. Z tohoto důvodu se k dosažení optimálního poměru používá míšení organických a rostlinných materiálů (Ust'ak a Váňa, 2005). Přibližné poměry jsou uvedeny v tabulce č.4.

Tabulka č. 4 - Poměr uhlíku a dusíku obsažený v některých materiálech (Ust'ak a Váňa, 2005)

Druh materiálu	C:N
Kejda skotu	10:01
Močůvka	2:01
Drůbeží trus	10:01
Sláma obilná	60 až 100:1
Posečená tráva	12 až 25:1
Piliny	500:01:00
Kůra	120:01:00
Odpad ze zahrad	20 až 60:1
Listí	30 až 60:1

3.5 Bioplynové stanice

Plánování výstavby a projekty bioplynových stanic jsou technicky náročné, prolínají se tematicky mnoha odvětvími (odpady, ochrana ovzduší, hnojiva, energetika). Z tohoto důvodu je proces ve fázi přípravy a realizace projektu velmi náročný z pohledu legislativy a naplnění jednotlivých legislativních požadavků.

Při samotné realizaci projektu bioplynové stanice je důležité zohlednit možnosti připojení na elektrickou síť, tzn. získat kladné stanovisko provozovatele distribuční

soustavy, od Energetického regulačního úřadu. Zajistit proveditelnost záměru, tzn. umístění stavebních technologických celků bioplynové stanice, zajistit logistiku biomasy, energetické a látkové vstupy a výstupy, zajistit dostatečné množství kvalitních vstupních surovin (Zhou a kol. 2009). Získat kladné stanovisko místní samosprávy a místní veřejnosti. Zajistit možnost využití stávající infrastruktury – zpevněné plochy, komunikace, připojení vody, kanalizace, jímky (Kára, 2007).

3.5.1 Dělení bioplynových stanic podle vstupních materiálů

Zemědělské bioplynové stanice zpracovávají vstupy pouze ze zemědělské výroby. V české republice nejvíce rozšířené, ekonomicky i provozně nejvýhodnější. Staví se převážně u zemědělských podniků, které se zabývají chovem hospodářských zvířat (prasat, skotu, drůbeže apod.). Zpracovávají nejčastěji materiály rostlinného charakteru a statkových hnojiv. Z živočišných produktů se užívá: kejda prasat a skotu, hnůj prasat a skotu se stelivem, hnůj a stelivo z chovu koní, koz, králíků, drůbeží exkrementy atd. Mezi rostlinné suroviny využívané v zemědělských bioplynových stanicích: pěstovaná biomasa (čerstvá i silážovaná) – pěstované energetické rostliny, sláma všech druhů obilovin a olejnin, bramborové slupky a nať, kukuřičná sláma a jádro, senáž, travní a plevelné porosty. Pro tyto zemědělské podniky je vlastnictví bioplynové stanice zdrojem stabilních příjmů a výsledně také nových pracovních příležitostí (Mužík a Kára, 2009). Kromě využívání vzniklých energií, mají možnost produktu kvalitního hnojiva jak pro svoji potřebu, tak i pro prodej. Toto hnojivo je výsledkem fermentačního procesu vzniklého při provozu bioplynové stanice. V tomto případě jde o stabilizovaný digestát, který má mnoho způsobů využití. Je možné ho používat jako organominerální hnojivo, surovinu pro výrobu kompostu nebo rekultivační materiál (Jelemenský a kol., 2013).

Kofermentační (průmyslové) bioplynové stanice zpracovávají výhradně nebo v jistém množství rizikové vstupy (jateční odpady, kaly z ČOV, tuky apod.).

Komunální bioplynové stanice jsou zaměřené na zpracování komunálních odpadů (bioodpady z údržby zeleně, domácnosti, jídelen; Mužík a Kára, 2009).

3.5.2 Dělení bioplynových stanic podle dávkování surového materiálu

Bioplynové stanice se podle dávkování rozdělují do tří skupin na: (i) diskontinuální provoz (s přerušovaným provozem); (ii) semikontinuální provoz; a (iii) kontinuální provoz

V případě diskontinuálního provozu je čas celého pracovního cyklu roven době zdržení fermentovaného materiálu ve fermentoru. Je používán u suché fermentace tuhých materiálů organického původu s obsahem sušiny 20% až 30%. Vstupní substrát je naskladněn a po ukončení celého fermentačního cyklu celý vyskladněn. Tento způsob je velmi náročný na obsluhu (Váňa, 2010). Semikontinuální provoz, je nejvíce užívaný postup dávkování fermentorů, při zpracování tekutých materiálů organického původu s obsahem sušiny mezi 3% až 14%. Vstupní materiál se dávkuje v časových intervalech 1 až 4 x denně. Čas dávkování jednotlivých dávek je kratší než doba zdržení materiálu ve fermentoru. Materiál, který vstupuje semikontinuálně do fermentoru má menší vliv na změnu jednotlivých parametrů fermentoru (např. homogenita, teplota). Technologický proces je možno snadno automatizovat (Ust'ak a Váňa, 2005). Kontinuální provoz, je užíván při plnění fermentorů, které jsou určeny pro zpracování tekutých organických materiálů s malým obsahem sušiny od 0,5% až 3% (Študlar, 2007).

3.6 Kogenerační jednotka

Kogenerace je výroba elektrické energie společně s ohřevem teplosměnného média (Shevloff, 2013). Kogenerační jednotka v sobě spojuje plynový motor (turbínu) a generátor elektrického proudu. Nejefektivnějším způsobem využití bioplynu je kombinovaná výroba elektrické energie a tepla v kogeneračních jednotkách (Váňa, 2010). Jde o soustavu spalovacího motoru, generátoru, tepelných výměníků a řídicí jednotky, která umožňuje celý proces řídit jak místně, tak dálkově. Elektřina z kogeneračních jednotek se používá pro potřebu vlastních objektů a zařízení, nebo je možné ji dodávat do sítě. Teplo z výroby elektřiny se využívá k vytápění objektů, přípravě teplé užitkové vody nebo technologického tepla. Vyšším stupněm kogenerace je tzv. trigenerace (Shevloff, 2013). Jedná se o společnou výrobu elektřiny, tepla i chladu. Oproti jiným způsobům výroby „zelené“, elektrické energie, jako je slunce a vítr, může kogenerace dodávat elektřinu v domluvenou dobu a v předem určeném množství, proto se řadí mezi říditelné zdroje energie (Mužík a Kára, 2009). Podle pohonu generátoru lze kogenerační jednotky dělit na: (i) s plynovými spalovacími motory – ty jsou vhodné pro ohřev vody. Dvě třetiny vyrobeného tepla mají teplotu kolem 100°C a jednu třetinu tepla, kterou tvoří výfuk a dosahuje teploty až 400°C; (ii) s plynovými spalovacími turbínami – ty dosahují teploty spalin více jak 500°C; (iii) se zážehovými nebo vznětovými motory

upravenými pro spalování bioplynu. Jedná se o nejvyužívanější kogenerační jednotky.

3.7 Druhotný produkt - teplo

Při samotném spalování bioplynu v stanicích pro výrobu elektrické energie je dalším produktem kromě výroby elektrické energie také teplo. Produkce této energie bývá ve většině případů vyšší než produkce elektrické energie. Produkce tepla z této výroby se užívá minimálně pro vlastní technologické ohřevy bioplynové stanice. Tímto dochází k využití cca 25-40 % vyrobeného tepla (Váňa, 2010). Další možnosti využití přebytků tepla jsou: (i) dodávky tepla do systému a vytápění domů; (ii) vytápění dalších objektů v okolí; a (iii) pro potřeby přidružených provozů.

3.8 Digestát

Dalším produktem celého fermentačního procesu v bioplynové stanici je již stabilizovaný materiál, tzv. digestát, který lze využít jako kvalitní organominerální hnojivo nebo jako další surovinu pro výrobu kompostu, či jako rekultivační materiál. Odvodněním se digestát převádí do tuhé formy. Produkt (digestát) je považován za organické hnojivo, dle zákona č. 254/2001 Sb. O vodách za tzv. závadné látky. Skladování tekutých a tuhých digestátů musí být v souladu dle vyhlášky č. 274/1998 Sb. O skladování a způsobu používání hnojiv. Hnojiva musí být registrována u Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského. Není zapotřebí žádat o potřebnou registraci, používá-li se pro vlastní potřebu. Je zapotřebí zamezit prosakování digestátu do povrchových vod či na sousední pozemky. Aplikace digestátu je předmětem evidence použitých hnojiv podle vyhlášky č. 274/1998 Sb. (Weger a Havlíčková, 2003).

Složení zkvašené biomasy (obsah dusíku a dalších živin včetně škodlivin) závisí na původu a složení výchozího substrátu, délce skladování, teplotě a zatížení. Obsah organické sušiny původního substrátu je fermentací zmenšen o 24-80%, protože větší část sloučenin uhlíku, organické sušiny je rozložena na metan CH_4 a oxid uhličitý CO_2 jako výsledný produkt - hodnotitelný plyn. Při hodnotách pH 7,1 je organický podíl dusíku v kejdě přítomen výhradně jako amoniový dusík, který nemůže vznikat ve formě plynu. Se stoupající hodnotou pH jsou amonné ionty přeměněny na

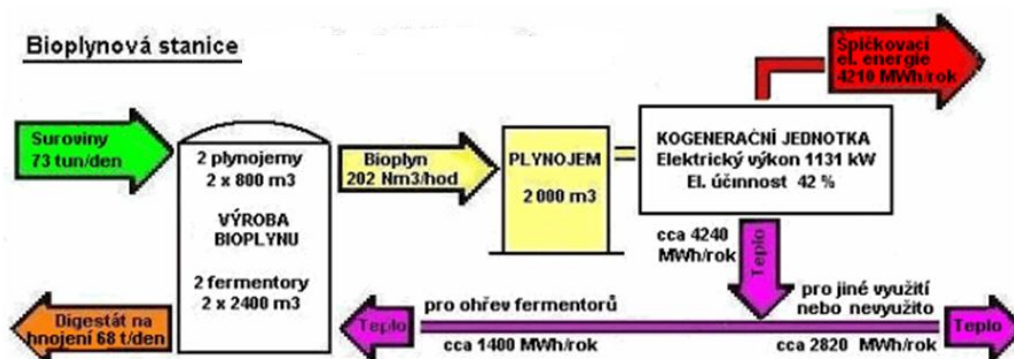
amoniak. Další látky jako fosfor, vápník, draslík a hořčík nejsou fermentačním procesem sníženy. Důležitý je také hygienizační účinek fermentace, který snižuje množství patogenních mikroorganismů. Dochází i k významnému omezení klíčivosti semen plevelů (Pastorek a kol., 2004).

3.9 Technologické zařízení bioplynové stanice

Zařízení na výrobu bioplynu anaerobní fermentací a vybavení těchto stanic je značně variabilní podle (i) používaného materiálu, (ii) způsobu jaký je používán materiál a (iii) jak je zpracován před vstupem do fermentoru jako hlavní součásti stanice. Bioplynová stanice (BPS) se skládá z následujících částí.

Příjmová nebo skladovací nádrž - materiál a transport suroviny do příjmové nádrže má odpovídat výkonnosti výrobní linky. Skladovací nádrže bývají vybaveny dalšími zařízeními (na separaci hrubých příměsí, na ředění vodou, na zahušťování řídkého materiálu, na aktivaci mikroflóry, na předehřev materiálu, na automatické dávkování do fermentoru). Další součástí je fermentor, kde se rozhoduje o kvalitě celé výroby. Jsou vyrobeny z různých materiálů (betonové, kovové nebo plastové). Mají vertikální či horizontální uložení. Mohou být uloženy v podzemní či nadzemní části povrchu. V tomto zařízení probíhá anaerobní proces, rozmnožují se zde mikrobiální kultury (Maroušek, 2013). Plynojem a úpravna bioplynu – slouží pro vyrovnaní nestejnětlakého tlaku bioplynu je na plynové cestě mezi fermentorem a kogenerační jednotkou (Kára, 2007). Z důvodu využívání bioplynu jako paliva pro kogenerační motory, musí získávaný bioplyn splňovat základní parametry, které mají vliv na možnosti využívání k pohonu motoru kogenerační jednotky. Hlavní požadavky na vyrobený plyn: obsah metanu $\text{CH}_4 = 55\text{-}65\%$. Minimální hranice je 50%, tlak bioplynu – pro spalování bioplynu v kogenerační jednotce je obvyklý tlak v rozsahu 1,5 – 10 kPa, stálost kvality plynu – (složení + tlak plynu), ovlivňuje stabilní chod motoru a emise škodlivin, obsah škodlivých příměsí – (sloučeniny síry, fluoru a chloru). Vyšší obsah těchto sloučenin může poškozovat motory korozí sacího traktu a vnitřních dílů motoru. Při vyšším obsahu síry je třeba bioplyn upravovat odsířením (Váňa, 2010). Další součástí BPS jsou kogenerační jednotky, které jsou jejím srdcem a tudíž i její nejdůležitější částí. Jde o velmi sofistikované zařízení, určené ke společné výrobě elektřiny a tepla.

Obrázek č. 1 - Znárodnění modelové bioplynové stanice (Maroušek, 2013).



4 Energetická biomasa

Biomasa je substance biologického původu (pěstování rostlin v půdě, ve vodě, chov živočichů, produkce organického původu, organické odpady). Může být záměrně získávána jako výsledek výrobní činnosti, nebo se jedná o využití odpadů ze zemědělské, potravinářské a lesní výroby, z komunálního hospodářství, z údržby krajiny (Weger a Havlíčková, 2003). Biomasa patří mezi nejstarší, lidmi využitelný zdroj energie, který má obnovitelný charakter. Pro energetické využití lze biomasu rozdělit na následující dvě skupiny. V první řadě se jedná o biomasu vhodnou pro spalování a zplynování, kam patří odpady dřevařského průmyslu (piliny, hobliny), zemědělské odpady (sláma, odpadní zrno), odpady lesního hospodářství (kůra, probírkové dřevo), speciálně pěstované dřeviny a rostliny (topol, olše, akát; Jelemenský a kol., 2013). V druhé řadě se jedná o biomasu vhodnou pro anaerobní fermentaci. Sem můžeme zařadit komunální a odpadové vody (čistírny), komunální a průmyslové odpady tuhé (na řízených skládkách), exkrementy z velkochovů skotu, vepřů, drůbeže, odpady potravinářského průmyslu, cíleně pěstované rostliny (Jelemenský a kol., 2013). Základní druhy využívané biomasy jsou rozděleny v tabulce č. 5.

Tabulka č. 5 - Základní druhy biomasy používané pro anaerobní výrobu bioplynu

Základní druhy biomasy běžně používané pro anaerobní výrobu plynu				
Exkrementy hospodářských zvířat	Fytomasa	Odpady ze zpracovatelského a potravinářského průmyslu	Specifické a speciální odpady	Tříděné domovní a komunální odpady
kejda, trus, hnůj, močůvka, hnojůvka, podestýlka hospodářských zvířat	siláže, senáže, vybrané části rostlin, vybrané druhy energetických rostlin, další produkty (zbytky krmiv apod.)	z mlékáren, jatek, lihovarů, cukrovarů apod.	bioodpady z chemické výroby jako je masokostní moučka apod.	nekontaminované odpady rostlinného a živočišného původu

4.1 Energetické využití rostlinné biomasy

Biomasa rostlinného původu je tvořena převážně celulórou, hemicelulórou a ligninem s různým obsahem vody a těkavými složkami, jako je terpentýn a dalšími (Xu a kol., 2011). Podíl základních složek je jiný u slámy zemědělských obilovin než u zeleného odpadu zemědělských plodin. Také obsah dusíku a síry je odlišný u biomasy rostlinného původu ve srovnání s biomasou živočišného, respektive bakteriálního původu. Proto původ a složení biomasy má rozhodující vliv na množství a složení plynu při pyrolýze a zplynování biomasy (Ochodek a kol., 2006).

4.1.1 Energetické využití

Prvním takovýmto způsobem využití biomasy je spalování, což je nejstarší a stále často používané zpracování dřevní hmoty za účelem získání tepla, které je však z hlediska výhodnosti nejméně efektivní (Prochnow a kol., 2009). Jedním z dalších využití biomasy je chemická přeměna. Sem patří výroba bionafty z olejů olejnatých rostlin (řepka, sója, slunečnice a další). Vylisovaný olej z těchto semen se katalyticky preesterifikuje metanolem a vzniklé metylestery vyšších mastných kyselin se používají jako přísada do dieselových paliv. Kapalný zbytek obsahuje glycerin, ten lze použít jako chemickou surovinu nebo při dalších procesech využití biomasy

(Kára, 2007). Dalším využitím biomasy je Biochemická přeměna. Sem patří dva druhy procesů a to anaerobní digesce s cílovým produktem bioplynem a fermentace alkoholového kvašení s cílovým produktem etanolem. Anaerobní vyhnívání je přírodní proces, který přeměňuje biomasu na plyn. Fermentace je přírodní proces, kdy za přítomnosti mikroorganismů (kvasinek) dochází k přeměně jednoduchých cukrů na konečné produkty, kterými jsou etanol v malém množství metanol, butanol, aceton a oxid uhličitý (Študlar, 2007).

4.2 Požadavky pro efektivní produkci plodin

Při určování vhodnosti pěstované biomasy jsou kladeny zejména požadavky na (i) vysoké výnosy biomasy za přijatelnou cenu; (ii) uplatnění jednoduchých nízkonákladových zemědělských technologií; (iii) bezpečnost plodiny z pohledu ochrany životního prostředí; a dále na (iv) možnosti využití běžné zemědělské techniky a nízkou náročnost na hnojení a ochranu (Pastorek a kol., 2004)

Základní důvody proč pěstovat energetickou biomasu pak jsou: (i) zvyšující se ceny zdrojů energie; (ii) relativně jednoduchý přechod na pěstování energetických plodin z tradiční zemědělské výroby; (iii) zlepšující se ekonomické podmínky pro využití (odbytu), produkce energetických plodin; (iv) možnost diverzifikace v rámci osevních ploch a využití vytrvalých plodin jako protierozního opatření a údržby krajiny; (v) zvýšení energetické soběstačnosti regionu, snížení závislosti na dovozu fosilních druhů energie. Rostlinnou biomasu je možné považovat za emisně neutrální z hlediska produkce CO₂, které je produktem jejího spalování a rostliny jej absorbují v průběhu růstu (cz-biom 2004).

4.3 Rostliny využitelné k tvorbě biomasy – bylinného charakteru (netradiční)

V České republice je pozornost věnována pouze takovým rostlinám, které jsou vhodné do našich půdně klimatických podmínek. Dále se věnuje pozornost hlavně rostlinám, které jsou schopny vytvářet velké množství nadzemní hmoty (viz Tabulka 6).

Tabulka č. 6 – Netradiční rostliny využitelné k tvorbě biomasy

Jednoleté - dvouleté	
Laskavec	<i>Amaranthus L.</i>
Konopí seté	<i>Canabis sativa L.</i>
Komonice bílá	<i>(Melilotus alba)</i>
Víceleté a vytrvalé (dvouděložní)	
Jestřabina východní	<i>(Galega orientalis)</i>
Šťovík krmný	<i>(Rumex tianshanicus X Rumex patientia)</i>
Mužák prorostlý	<i>(Silphium perfoliatum L.)</i>
Energetické trávy	
Kostřava rákosovitá	<i>(Festuca arundinacea)</i>
Lesknice (chrastice) rákosovitá	<i>(Phalaris arundinacea L.)</i>
Ozdobnice čínská (sloní tráva)	<i>(Miscanthus sinensis)</i>

4.4 Zásady pěstování energetické biomasy z pohledu ochrany krajiny

Pro pěstování energetické biomasy by měl být k dispozici přehled o vhodných oblastech a územích. Vymezení těchto oblastí by mělo vycházet z dostupných poznatků o zranitelnosti půd, vymezení a funkčnosti částí územních systémů ekologické stability, výskytu přírodních biotopů a o hodnotě krajinného rázu konkrétní oblasti (Vráblíková, 2008). Je důležité omezit či vyloučit pěstování biomasy velkoplošnými technologiemi. Je nutné respektovat existenci krajinných prvků, zajistit jejich ochranu, nebo obnovu a zvýhodnit regionální využívání biomasy, případně podporovat snižování závislosti obyvatel obcí na centrálních energetických zdrojích. Jako výhodné se jeví pěstování energetických rostlin na půdách, které jsou devastované (Ust'ak, 1997). Jde především o půdy nevhodné k pěstování a produkci potravinářských a zemědělských potravin, dále o půdy, které jsou charakteristické nepříznivými faktory pro udržení vegetace jako např.:

Půdy, které mají nízký obsah makroprvků (N, P, K nebo mikroživin Fe, Cu. Půdy s nedostatkem živin). Půdy s nedostatkem organické hmoty. Půdy s horšími fyzikálními vlastnostmi (kamenité či písčité půdy špatně zadržují vláhu, mají nízkou iontově výměnnou kapacitu, jílovité půdy jsou zase pro vodu málo propustné). Dále se může jednat o půdy s horšími chemickými vlastnostmi (pH prostředí může být od alkalického až po kyselé). Půdy s horšími biologickými vlastnostmi (kdy půdní biologická aktivita je obecně nízká). Svažitě půdy, které podléhají erozi (Ust'ak, 1997).

4.5 Vybrané plodiny pro výrobu bioplynu

4.5.1 Kukuřice setá (*Zea mays L.*)

Z historického pohledu je pěstování kukuřice známé déle než 5600 let. Řadí se do čeledi Lipnicovitých, skupiny *Maydeae*. V současné době je nejdůležitější a nejužívanější vstupní surovinou do bioplynových stanic. Tato plodina má vypracované osevní postupy a technologie při poměrně nenáročném pěstování. Kukuřice vyžaduje hlavně teplejší oblasti republiky. Půdy lehčí, jsou vhodnější. S vyšší nadmořskou výškou klesají výnosy a někde i zrno nedozrává. Kukuřice má vysoký energetický potenciál, přibližně 324 000 MJ/ha. Naproti tomu obiloviny poskytují pouze 216 000 MJ/ha. Tato energetická výhodnost vede k přehodnocování pohledu na kukuřici jako krmivo (Ochodek a kol., 2006). Tento fakt je předpokladem k zpracovávání celých rostlin na výrobu energie. Na druhou stranu má pěstování kukuřice i některé zápory. Vysoký podíl kukuřice v osevním plánu není vhodný z důvodů bilance a kvality organické hmoty v půdě. Zvláště nevhodné je pěstovat kukuřici na svazích, kde je nebezpečí půdní eroze. Netvoří drnový porost, a proto jsou podmínky na povrchu půdy příznivé pro odnos půdy z pozemku při přívalových deštích. Rostlina má vyšší požadavky na dusík a proto by měla být zařazována po zlepšujících plodinách, jako jsou luskoviny. Produkce metanu závisí na kvalitě siláže. Firma PIONEER – nabízí hybridy kukuřice pro bioplyn. BT-Hybridy určené pro výrobu bioplynu – PR39T47, PR39F56, PR38V11. Tato firma vyvinula nový silážní inokulant určený pro výrobu bioplynu: Pioneer 11CH4. Toto aditivum obsahuje unikátní bakteriální kmen *L. Buchneri* 40177, který v průběhu fermentace produkuje do silážované hmoty specifické enzymy, Ferrulát Esterázy. Tyto enzymy narušují strukturu vlákniny, která je intenzivněji odbourávána ve fermentoru a tím dochází k zvýšení produkce až o 8 procent (Ochodek a kol., 2006, CZ biom2001).

4.5.2 Chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea* L.)

Tato rostlina se řadí do čeledi Lipnicovitých (*Poaceae*) (Grau a kol., 1998). Jde o druh vytrvalé 50-200 cm i více vysoké mohutné trávy. Stébla jsou přímá a hladká, pochvy listů jsou hladké s dřípeným (dlouze čárkovitě děleným) jazýčkem. Je to cizospašná, výběžkatá tráva. Je rozšířena po celém území našeho státu, všude tam, kde je dostatek půdní vláhy (Ust'ak a Váňa, 2005). Chrastice tvoří dlouhé podzemní oddenky, které jsou rozloženy těsně pod povrchem půdy. Kořený systém je mohutný a zasahuje do značné hloubky. Jednostranná lata je úzká a podlouhlá o velikosti 10-25 cm. Na našem území kvete v červnu a červenci. Rostlina je nenáročná na agrotechniku a volně roste téměř po celé Evropě. V přirozených porostech se nejčastěji vyskytuje v okolí vodních toků. Její výskyt vysoko v horách je znakem toho, že je odolná vůči drsným klimatickým podmínkám. Nejlépe rostlině vyhovují těžší půdy s vyšší zásobou živin. Mimořádně je vhodná pro efektivní zužitkování zamokřených půd. V daném případě lze založení a pěstování víceletých porostů chrastice považovat za fytomeliorační postup, které zajišťuje solidní vysušení a hospodářské zužitkování zamokřených pozemků. Chrastice má rozsáhlý potenciál víceúčelového využití a to jako plodina technická, energetická a půdoochranná. V českém seznamu je registrovaná pouze jedna odrůda „Chrastava“ (2007). Světový seznam obsahuje celkem 23 odrůd. Choroby ani škůdci u chrastice nečiní problémy (Ust'ak, 1998, CZ biom, 2004).

4.6 Ekonomické zhodnocení nákladů testovaných plodin

Zde jsou brány v potaz veličiny důležité pro ekonomické hodnocení dané rostliny pro výrobu bioplynu. A to zejména výnos z ha, výnos sušiny, výnos N – látek.

Tabulka č. 7 - Kukuřice na siláž při sušině celých rostlin 32%

(www.agronormativy.cz)

Výnos zelené hmoty ($t \cdot ha^{-1}$)	40
Výnos sušiny ($t \cdot ha^{-1}$)	12,8
Výnos – N látek ($kg \cdot ha^{-1}$)	1091
Obsah sušiny (%)	32
Normativ fixních nákladů ($Kč \cdot ha^{-1}$)	5900
Dotace ($Kč \cdot ha^{-1}$)	6068,88

Uveden je zde výnos a parametry dané plodiny – kukuřice dle zemědělských tabulek na 1 hektar plodiny, dotace jsou stanoveny dle SAPS – jednotné platby na plochu 1ha. z Evropských zemědělských dotací (www. agronormativy).

V následující tabulce jsou výsledné ekonomické hodnoty jednotlivých technologických kroků pěstování a zpracování rostliny do finálního substrátu.

Tabulka č. 8 - Ekonomické zhodnocení technologických postupů pěstování kukuřice na siláž při sušině celých rostlin 32% (www.agronormativy.cz)

Práce h*ha ⁻¹	Nafta l*ha ⁻¹	Práce Kč*ha ⁻¹	ZM celkem bez PH Kč/ha	Osivo Kč*ha ⁻¹	Prům. hnojiva Kč*ha ⁻¹	Pesticidy Kč*ha ⁻¹	Var. Náklady celkem Kč*ha ⁻¹	Technologické náklady tj. fixní+variabilní v Kč*ha ⁻¹
8,73	136	1208	17018	3700	6004	3214	25980	31474

Z dané tabulky lze vyčíst náklady na výrobu 1t kukuřičné siláže v částce 786,85 Kč. Náklady jednotlivých technologických kroků viz příloha č. 1 v příloze.

Další hodnocenou rostlinou je chrastice rákosovitá, viz následující tabulka.

Tabulka č. 9 - Chrastice rákosovitá (www.agronormativy.cz)

Výnos zelené hmoty (t*ha ⁻¹)	25
Normativ fixních nákladů (Kč*ha ⁻¹)	3500
Obsah sušiny (%)	25-30
Výnos N látek (kg*ha ⁻¹)	833
Dotace započtená do tržeb (Kč*ha ⁻¹)	6068

Tabulka uvádí výnos a parametry rostliny chrastice dle zemědělských tabulek na 1 hektar plodiny, dotace jsou stanoveny dle SAPS – jednotné platby na plochu 1 ha. z Evropských zemědělských dotací (www. agronormativy).

V následující tabulce jsou výsledné ekonomické hodnoty jednotlivých technologických kroků pěstování a zpracování rostliny do finálního substrátu.

Tabulka č. 10 - Ekonomické zhodnocení technologických postupů pěstování chrastice rákosovité (www.agronormativy.cz)

Technologické náklady tj. fixní+variabilní v Kč* ha ⁻¹	8022
Var. Náklady celkem Kč* ha ⁻¹	5534
Pesticidy Kč* ha ⁻¹	40
Prům. hnojiva Kč* ha ⁻¹	923
Osivo Kč* ha ⁻¹	75
ZM celkem bez PH Kč/ha	1722
Práce Kč* ha ⁻¹	645
Nafta l* ha ⁻¹	50,8
Práce h* ha ⁻¹	4,6

Z dané tabulky lze vyčíst náklady na výrobu 1t siláže v částce 320,- Kč, při kalkulaci založení porostu na dobu 10 let. Náklady jednotlivých technologických kroků viz příloha č. 2 v příloze.

Poslední z hodnocených rostlinných substrátů je fytohmota z ladem ležících ploch, kdy hodnoty jsou získané z vlastních sklizní a rozborů, viz tabulka č. 11.

Tabulka č. 11 – Ladem ležící plocha - vlastní

Výnos zelené hmoty (t*ha ⁻¹)	12
Obsah sušiny (%)	28-35
Výnos N látek (kg*ha ⁻¹)	430
Dotace započtená do tržeb (Kč*ha ⁻¹)	2500

Výnos zelené hmoty je průměr vlastních sklizní z odebraných vzorků z vybrané plochy (viz kapitola 6.1), obsah sušiny je průměrné rozmezí hodnot vlastních vzorků (viz kapitola 6.1), dotace jsou stanoveny dle SAPS – jednotné platby na plochu 1 ha.

z Evropských zemědělských dotací (www. agronormativy), dopočteno dle průměrů dotací na jednotlivé travnaté plochy.

V následující tabulce jsou výsledné ekonomické hodnoty jednotlivých technologických kroků pěstování a zpracování fytomasy do finálního substrátu.

Tabulka č. 12 - Ekonomické zhodnocení technologických postupů zpracování ladem ležících ploch (www.agronormativy.cz)

Práce h* ha ⁻¹	Nafta l* ha ⁻¹	Práce Kč* ha ⁻¹	ZM celkem bez PH Kč/ha	Osivo Kč* ha ⁻¹	Prům. hnojiva Kč* ha ⁻¹	Pesticidy Kč* ha ⁻¹	Var. Náklady celkem Kč* ha ⁻¹	Technologické náklady tj. fixní+variabilní v Kč* ha ⁻¹
4	20	100	1200	0	0	0	1860	3760

Z dané tabulky lze vyčíst náklady na výrobu 1t senáže v částce 313,- Kč. Náklady jednotlivých technologických kroků viz příloha č. 3 v příloze.

5 Metodika práce

Účelem je zkoumání možnosti využití travních a bylinných porostů k výrobě bioplynu. K testování byl vybrán ladem ležící pozemek s druhotným spektrem ruderalních rostlin na stanovišti, který je cca 20 let neudržovaný, jde o plochu, která je neužívaná, nijak neupravovaná nacházející se v katastrálním území Chomutov II, poblíž budovy Výzkumného ústavu rostlinné výroby (dále jen VÚRV) Praha, detašované pracoviště Chomutov, Černovická 4987, souřadnice GPS Y:810160.21, X:991419.5, v nadmořské výšce 340 m, průměrné roční teplotě 8°C, s průměrným úhrnem srážek 450 – 500 mm/rok, doba slunečního svitu v průměru 1600 h/rok. Na vybrané pokusné ploše byly zjištěny tyto dominantní porosty rostlin:

Třtina křovištní (*Calamagrostis epigeos*), Srha laločnatá (*Dactylis glomerata*), Pelyněk černobýl (*Artemisia vulgaris*), Pcháč oset (*Cirsium arvense*), Pampeliška lékařská (*Taraxacum officinale*), Bělotrn obecný (*Echinopsis spharocephalus*), Kopřiva žahavka (*Urtica urens*), Rmen rolní (*Anthemis arvensis*), Sveřep měkký

(*Bromus hordeaceus*), Jílek vytrvalý (*Lolium perenne*), Jitrocel kopinatý (*Plantago lanceolata*), Turanka kanadská (*Conyza canadensis*), Růže šípková (*Rosa canina*), Ostružiník křovitý (*Rubus fruticosus*)

Na vymezené ploše byla vybrána a označena 4 místa určená k odběru biomasy o výměře 1m². Sklizení biomasy bylo provedeno ve fázi růstu (15. 5. 2013), ve fázi květu (18. 6. 2013) a ve fázi dozrávání semen (6. 9. 2013). Sklizeň biomasy byla provedena manuálně za použití normovaného metrového rámu a srpů. Dalším zpracováním materiálu bylo vážení odebraných vzorků a mechanického drcení na velikost menší než 5 mm (drtič zahradního odpadu ALCO). Zároveň pro porovnání byly odebrány vzorky kukuřice (siláže) a chrastice. Z každého vzorku byla 1/3 použita v čerstvém stavu, 1/3 zasilážována (konzervace materiálu), 1/3 zmrazena (uchování vzorků). Bylo provedeno měření sušiny (v přepočtené části vzorku byl vzorek předsušen vzduchem a dosušen v sušárně při teplotě 105°C do konstantní hmotnosti). Do fermentačního procesu byly použity vzorky z ladem ležících ploch v zeleném (čerstvém) stavu, vzorky chrastice v zeleném (čerstvém) stavu, vzorky kukuřičné siláže (siláž).

Dávka biomasy substrátu odpovídající váze sušiny analyzované hmoty byla dopočtena dle směšovací rovnice (viz kapitola 5.1) a promíchána s čerstvým inokulem (očkovací látkou). Byl užit standardizovaný digestát (upravený na užitou sušinu z bioplynové stanice v obci Ahníkov, okres Chomutov. V jednom fermentoru bylo použito čisté inokulum pro srovnání a kontrolu naměřených hodnot. Vsázka do fermentoru byla o objemu 500ml v celkové sušině 6%. Všechny vzorky prošly mezofilní metanogenní fermentací při teplotě 38°C a době procesu 21 dní (fermentační reaktor vlastní výroby VÚVR Chomutov v laboratorním prostředí). Byla sledována produkce bioplynu (v litrech) a hodnocena jeho kvalita a další parametry O₂, CO₂, množství metanu ve vzorku v %, které rozhodují o vhodnosti suroviny pro produkci bioplynu (analytickým přístrojem Biogas). Produkce bioplynu se měřila vždy po sedmi dnech. Naměřené hodnoty byly porovnány s kontrolní produkcí inokula, s produkcí z kukuřice (siláž) a chrastice (zelený substrát). Od výsledné produkce bioplynu z jednotlivých fermentorů byla odečtena kontrolní produkce inokula. Každý vzorek prošel fermentačním procesem ve třech opakováních. K dalšímu porovnávání byly použity reprezentativní výsledky z každého vzorku, přibližující se průměru výsledku (viz tabulky průběhu

fermentačního procesu). Dále byl proveden přepočet výsledků produkce bioplynu a metanu na celkovou výtěžnost bioplynu (litr/kg 100% sušiny, celková výtěžnost metanu (CH₄) litr/kg 100% sušiny, celková výtěžnost bioplynu litr/kg původní hmoty, celková výtěžnost metanu (CH₄) litr/kg původní hmoty a celková průměrná koncentrace metanu v bioplynu, uvedena v %). Z těchto dat bylo provedeno zhodnocení průměrné produkce bioplynu a metanu z každého substrátu, zhodnocení výnosu množství produkce bioplynu a metanu z jednotlivých plodin vztaženo na tunu fermentovaného původního substrátu a výnosu plynu v m³, zhodnocení výnosu množství produkce bioplynu a metanu z jednotlivých plodin (substrátu) vztaženo na ha pěstované plochy plodiny (dle výnosů každé užití plodiny). Ekonomické zhodnocení jednotlivých fermentovaných substrátů.

Způsob dopočtení hodnot z fermentačních tabulek (viz tabulka č. 22).

1. **Sušina** – zjištěna po provedeném sušení v VÚRV Chomutov
2. **Čistá celková výtěžnost bioplynu z daného substrátu v (l/kg) 100% sušiny** – dle vzorce:

$$\underline{\check{C}VB = ((OB*1000)-pb*CSI)/COSS}$$

kdy $\check{C}VB$ je čistá celková výtěžnost bioplynu; OB je objem bioplynu v litrech; pb je produkce bioplynu (l/kg) inokula; CSI je celková organická sušina inokula a COSS je celková organická sušina substrátu.

Hodnoty objem bioplynu v litrech jsou uvedeny ve fermentačních tabulkách, produkce bioplynu v (l/kg) inokula viz tabulka příloha č. 4 v příloze, celková organická sušina inokula viz tabulka příloha č. 4, celková organická sušina substrátu viz tabulka příloha č. 4 v příloze.

3. **Čistá celková výtěžnost metanu z daného substrátu v (l/kg) 100% sušiny**- dle vzorce :

$$\underline{\check{C}VM = ((OM*1000)-pm*CSI)/COSS}$$

Kdy $\check{C}VM$ je čistá celková výtěžnost metanu; OM je objem metanu v litrech; pm je produkce metanu (l/kg) inokula; CSI je celková organická sušina inokula a COSS je celková organická sušina substrátu

Hodnoty objemu metanu v litrech jsou uvedeny ve fermentačních tabulkách, produkce metanu v (l/kg) inokula viz tabulka příloha č. 4 v příloze, celková organická sušina inokula viz tabulka příloha č. 4 v příloze, celková organická sušina substrátu viz tabulka příloha č. 4 v příloze.

- 4. Výsledná průměrná koncentrace metanu ve vyprodukovaném bioplynu –**
dle vzorce:

$$\underline{VKM = CVM/CVB*100}$$

Kdy VKM je výsledná průměrná koncentrace metanu; CVM je celková výtěžnost metanu v l/kg původní hmotnosti a CVB je celková výtěžnost bioplynu v l/kg původní hmotnosti

- 5. Celková výtěžnost bioplynu v l/kg původní hmotnosti –**

Dle vzorce:

$$\underline{CVB = \check{C}VB*SS/100}$$

Kdy CVB je celková výtěžnost bioplynu; $\check{C}VB$ je čistá celková výtěžnost bioplynu z daného substrátu v (l/kg) 100% sušiny a SS je sušina substrátu

- 6. Celková výtěžnost metanu v l/kg původní hmotnosti –** dle vzorce:

$$\underline{CVM = \check{C}VM*SS/100}$$

Kdy CVM je celková výtěžnost metanu; $\check{C}VM$ je čistá celková výtěžnost metanu z daného substrátu v (l/kg) 100% sušiny a SS je sušina substrátu

5.1 Směšovací rovnice

Pro výpočet velikosti vsázky společného substrátu a inokula v množství 500 g a v celkové hodnotě sušiny 6% užívá Ústav rostlinné výroby (VÚRV) Chomutov rovnici:

(Obsah sušiny substrátu * X) + [obsah sušiny inokula*(obsah vsázky-X)] = (obsahu vsázky*cílová sušina).

X = hmotnost vloženého substrátu (g)

Dle uvedené rovnice jsou dopočítané obsahy vsázek substrátů do fermentoru (viz příloha č. 4 tabulka substrátů v příloze).

6 Výsledky

6.1 Data a rozborů odebraných vzorků

Vzorky fytomasy byly odebrány z označených míst na vybrané ladem ležící ploše, dále byly tyto vzorky zpracovány ve VÚRV Chomutov. Bylo provedeno vážení vzorků, přepočítání výnosnosti z ha, sušení vzorků a jejich rozbor. Výsledky následně uvedeny v tabulce č. 13.

Tabulka č. 13 – Rozbor substrátu fytomasy z ladem ležících ploch před fermentací.

vzorek	Váha z 1m ²	Výnos z ha	% sušiny	% spalitelných látek
Sběr vzorků ze dne 15.5.2013 – před květem				
A	725 g	7,25t	29,3	91,3
B	930g	9,3t	25,1	91,5
C	960g	9,6t	23,6	90
D	895g	8,95t	22,1	92,6
průměr	878g	8,78t	25	91,4
Sběr vzorků ze dne 18.6.2013 – v době květu				
A	1500 g	15t	29,15	93,29
B	1300g	13t	30,26	92,33
C	1550g	15,5t	30,26	93,37
D	1500g	15t	30,26	92,48
průměr	1463g	14,6t	30	92,9
Sběr vzorků ze dne 6.9.2013 – dozrání semen				
A	1100 g	11,00t	38	93,32
B	955g	9,55t	38	91,77
C	1000g	10,00t	38	92,22
D	1340g	13,40t	38	92,86
průměr	1098g	10,98t	38	92,3

Nejvyšší nárůst fytomasy vykazovaly vzorky odebrané v době květu odebrané ze stanoviště 18. 6. 2013. Nejvyšší obsah sušiny vykazovaly vzorky fytomasy odebrané v době dozrání semen dne 6. 9. 2013. Všechny odebrané vzorky rozbořem vykazovaly vysoké procento spalitelných látek v sušině. Z uvedené tabulky je možno

dále dopočíst % popela, které je nízké. Z uvedeného je zřejmé, že se jedná o kvalitní fytomasu z pohledu použitelnosti pro metanogenní fermentaci.

Dále byly odebrány vzorky chrastice rákosovité z pokusného pole VÚRV Chomutov dne 15. 5. 2013. Jednotlivé vzorky byly dále zpracovány ve VÚRV Chomutov. Bylo provedeno vážení vzorků, přepočet výnosnosti z ha plodiny, sušení vzorků a jejich rozbor. Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce. Následně odebrána kukuřičná siláž, která byla použita ze zásob VÚRV Chomutov. U kukuřičné siláže bylo provedeno sušení a rozbor sušiny. Výsledky uvedeny v tabulce č. 14.

Tabulka č. 14 – Rozbor substrátu kukuřičné siláže a chrastice před fermentací.

Substrát před fermentací			
	Sušina (%)	Spalitelné látky (%)	Popel (%)
Kukuř. Siláž	32,24	95,96	4,04
Kukuř. Siláž	32,24	95,96	4,04
Kukuř. Siláž	32,24	95,96	4,04
Chrastice před květem	19,88	89,20	10,80
Chrastice před květem	19,88	89,20	10,80
Chrastice před květem	19,88	89,20	10,80

V případě vzorků kukuřičné siláže, tyto vzorky vykazují vysoké procento spalitelných látek v sušině a nízké procento popela. Vzorky chrastice vykazují také vysoké procento spalitelných látek v sušině. Nižší procento sušiny odpovídá době odběru rostliny, tedy v zeleném stavu před květem.

K nastartování fermentačního procesu bylo použito inokulum a to digestát z bioplynové stanice v Ahníkově, okres Chomutov. Před použitím byl digestát upraven na sušinu 3,71 %. Dále byl proveden rozbor tohoto digestátu (viz Tabulka č.15).

Tabulka č. 15 - Rozbor standardizovaného inokula před fermentací.

	sušina v%	% spalitelných látek	Popel %
inokulum	3,71	76,64	23,36

Provedený rozbor za účelem zjištění množství spalitelných látek v sušině a množství popelovin byl proveden v laboratoři VÚRV Chomutov.

6.2 Výsledky fermentačních procesů

Jednotlivé vzorky biomasy prošly mezofilní metanogenní fermentací při teplotě 38°C a době procesu 21 dní. Při procesu byla sledována produkce bioplynu (v litrech) a hodnocena jeho kvalita a další parametry - O₂, CO₂, množství metanu ve vzorku v %, které rozhodují o vhodnosti suroviny pro produkci bioplynu. Produkce bioplynu se měřila vždy po sedmi dnech (viz Tabulka č.16,17,18,19,20,21).

Tabulka 16 - Průběh fermentačního procesu inokula.

Surovina	7.den			14. Den					21. Den					Celkové množství BP (v l)	Celkové množství CH ₄ (v l)		
	Množství (v l)		Množství (v %)			Množství (v l)		Množství (v %)			Množství (v l)	Množství (v l)					
	Bioplyn	Metan	CH ₄	CO ₂	O ₂	Bioplyn	Metan	CH ₄	CO ₂	O ₂							
Inokulum A						1,10	0,33	29,80	10,10	9,50	0,70	0,29	41,40	4,50	11,30	1,80	0,62
Inokulum B											1,00	0,35	35,10	4,30	10,60	1,00	0,35
Inokulum C											0,40	0,11	28,10	3,40	11,80	0,40	0,11
Průměr						1,10	0,33	29,80	10,10	9,50	0,70	0,25	34,87	4,07	11,23	1,07	0,36

Provedením fermentačního procesu samotného inokula, byla zjištěna produkce bioplynu a metanu této očkovací látky, která byla následně odečtena od produkce bioplynu a metanu ostatních substrátů (kukuřice, chrastice, fytomasy z ladem ležících ploch).

Tabulka č. 17 – Průběh fermentačního procesu travního substrátu z ladem ležící plochy – odebrané v době před květem.

Surovina	7.den					14. Den					21. Den					Celkové množství BP	Celkové množství CH ₄
	Množství (v l)		Množství (v %)			Množství (v l)		Množství (v %)			Množství (v l)		Množství (v %)				
	Bioplynu	Metanu	CH ₄	CO ₂	O ₂	Bioplynu	Metanu	CH ₄	CO ₂	O ₂	Bioplynu	Metanu	CH ₄	CO ₂	O ₂		
Tráva před květem A	1,30	0,73	56,20	12,40	6,30						1,10	0,40	36,80	3,40	12,60	2,40	1,14
Tráva před květem B						1,60	0,76	47,50	9,60	8,40	0,80	0,28	35,60	3,60	12,60	2,40	1,04
Tráva před květem C	1,40	0,61	43,60	9,90	7,90						0,80	0,27	34,30	4,30	11,30	2,20	0,88
Tráva před květem D						1,50	0,83	55,40	11,80	6,80	0,90	0,37	40,90	5,10	11,30	2,40	1,20
Průměr	1,35	0,67	49,90	11,15	7,10	1,55	0,80	51,45	10,70	7,60	0,90	0,33	36,90	4,10	11,95	2,35	1,07

Z fermentační tabulky je znatelné, že nejvyšší hodnoty produkce bioplynu a metanu byly naměřeny 14. den fermentačního procesu. Oproti tomu 21. den fermentačního procesu substrát vykazoval výrazně snižující produkci bioplynu i metanu. Z toho vyplývá, že proces fermentace byl na vrcholu kolem 14 dne. Výsledné hodnoty produkce jsou bez odečtení produkce inokula.

Tabulka č. 18 – Průběh fermentačního procesu travního substrátu z ladem ležící plochy – odebrané v době květu.

Surovina	7.den					14. Den					21. Den					Celkové množství BP	Celkové množství CH ₄
	Množství (v l)		Množství (v %)			Množství (v l)		Množství (v %)			Množství (v l)		Množství (v %)				
	Bioplynu	Metanu	CH ₄	CO ₂	O ₂	Bioplynu	Metanu	CH ₄	CO ₂	O ₂	Bioplynu	Metanu	CH ₄	CO ₂	O ₂		
Tráva doba květu A	1,30	0,40	30,70	7,10	8,40						0,70	0,21	29,80	2,90	13,20	2,00	0,61
Tráva doba květu B	1,30	0,30	23,30	6,80	8,10						0,70	0,09	12,50	2,40	12,00	2,00	0,39
Tráva doba květu C						1,40	0,43	30,70	6,40	8,30	0,70	0,23	32,20	4,20	11,70	2,10	0,66
Tráva doba květu D						1,40	0,42	30,00	6,40	10,00	0,50	0,16	32,20	3,40	12,60	1,90	0,58
Průměr	1,30	0,35	27,00	6,95	8,25	1,40	0,42	30,35	6,40	9,15	0,65	0,17	26,68	3,23	12,38	2,00	0,56

Z dané tabulky je zřejmé, že fermentační proces uvedeného substrátu dosahoval maxima 14. den, kdy byla naměřena nejvyšší produkce bioplynu a metanu. 21 den

procesu substrát vykazoval již snižující se produkci bioplynu. Fermentace v této době začíná pozvolna ukončovat svůj proces. Výsledné hodnoty jsou bez odečtení produkce inokula.

Tabulka č. 19 - Průběh fermentačního procesu trávniho substrátu z ladem ležící plochy – odebrané v době dozrávání semen.

Surovina	7.den					14. Den					21. Den					Celkové množství CH ₄ Celkové množství BP (v l)	Celkové množství (v l)
	Množství (v l)		Množství (v %)			Množství (v l)		Množství (v %)			Množství (v l)		Množství (v %)				
	Boplynu	Metanu	CH ₄	CO ₂	O ₂	Boplynu	Metanu	CH ₄	CO ₂	O ₂	Boplynu	Metanu	CH ₄	CO ₂	O ₂		
Tráva dozrávání semen A						1,80	0,64	35,40	11,70	6,70	0,50	0,09	17,20	2,00	14,40	2,30	0,72
Tráva dozrávání semen B	1,40	0,45	32,10	14,30	6,00						0,60	0,08	13,00	0,20	16,00	2,00	0,53
Tráva dozrávání semen C						1,50	0,68	45,50	5,60	9,90	0,30	0,06	21,00	2,20	14,20	1,80	0,75
Tráva dozrávání semen D						1,30	0,62	47,40	11,60	7,40	1,00	0,35	34,80	3,70	12,80	2,30	0,96
Průměr	1,40	0,45	32,10	14,30	6,00	1,53	0,65	42,77	9,63	8,00	0,60	0,14	21,50	2,03	14,35	2,10	0,74

V uvedené tabulce fermentačního procesu substrátu je opět patrný vrchol produkce bioplynu 14. den procesu. Výsledné hodnoty jsou bez odečtení produkce inokula.

Tabulka č. 20 – Průběh fermentačního procesu substrátu chřastice před květem.

Surovina	7.den					14. Den					21. Den					Celkové množství CH ₄ Celkové množství BP (v l)	Celkové množství (v l)
	Množství (v l)		Množství (v %)			Množství (v l)		Množství (v %)			Množství (v l)		Množství (v %)				
	Boplynu	Metanu	CH ₄	CO ₂	O ₂	Boplynu	Metanu	CH ₄	CO ₂	O ₂	Boplynu	Metanu	CH ₄	CO ₂	O ₂		
Chřastice před květem						1,30	0,46	35,20	7,40	10,20	0,30	0,10	33,00	4,30	11,90	1,60	0,56
Chřastice před květem											1,60	0,59	36,60	5,00	11,10	1,60	0,59
Chřastice před květem											1,50	0,54	35,80	5,40	11,00	1,50	0,54
Průměr						1,30	0,46	35,20	7,40	10,20	1,13	0,41	35,13	4,90	11,33	1,57	0,56

Tabulka fermentačního procesu substrátu chřastice rákosovité vykazuje maxima produkce bioplynu a metanu 14 den měření. 21 den se produkce plynů snižovala, avšak ne tak významně jako u substrátu z ladem ležících ploch. Z tohoto vyplývá, že

celý fermentační proces do ukončení produkce by trval déle než u fytomasy z ladem ležících ploch. Výsledné hodnoty jsou bez odečtení produkce inokula.

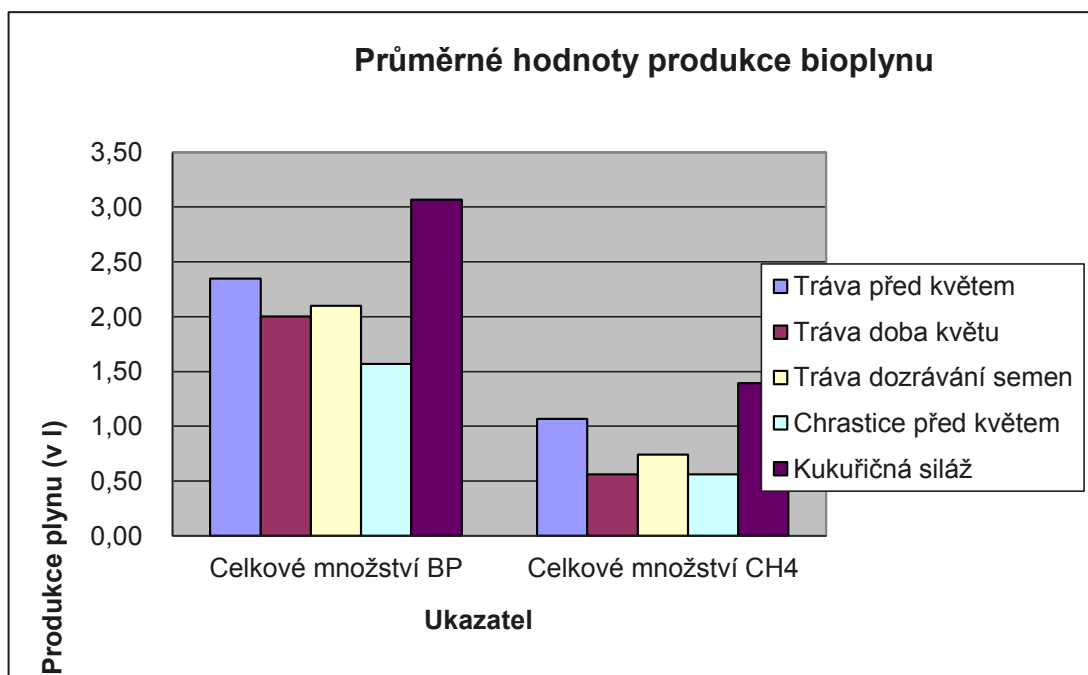
Tabulka č. 21 – Průběh fermentačního procesu u kukuřičné siláže.

Surovina	7.den					14. Den					21. Den					Celkové množství BP (v l)	Celkové množství CH4 (v l)
	Množství (v l)		Množství (v %)			Množství (v l)		Množství (v %)			Množství (v l)		Množství (v %)				
	Boplynu	Metanu	CH4	CO2	O2	Boplynu	Metanu	CH4	CO2	O2	Boplynu	Metanu	CH4	CO2	O2		
Kukuřičná siláž	1,60	0,31	19,60	40,10	5,70	1,50	0,87	58,30	19,50	4,30	1,30	0,78	60,10	6,30	7,50	4,40	1,97
Kukuřičná siláž	1,50	0,33	22,30	37,50	5,20											1,50	0,33
Kukuřičná siláž						2,00	1,09	54,50	21,20	4,20	1,30	0,78	60,10	5,60	7,90	3,30	1,87
Průměr	1,55	0,32	20,95	38,80	5,45	1,75	0,98	56,40	20,35	4,25	1,30	0,78	60,10	5,95	7,70	3,07	1,39

Tabulka fermentačního procesu substrátu kukuřičné siláže bez odečtení produkce inokula.

Jednotlivé průměrné hodnoty produkce bioplynu a metanu z provedených fermentací jsou zřetelné v následujícím obrázku č. 2.

Obrázek č. 2 – Zhodnocení průměrné produkce bioplynu a metanu z jednotlivých vzorků dle fermentačních hodnot výnosů.



Z grafického znázornění výnosů bioplynu a metanu jednotlivých fermentovaných substrátů vykazoval nejvyšší produkci sledovaných plynů substrát kukuřičné siláže. Oproti tomu nejnižší produkci plynů vykazoval substrát chrastice. Ze substrátů odebraných z ladem ležících ploch nejvyšší produkci bioplynu a metanu vykazoval substrát odebraný v době před květem.

Z provedených fermentací byly jednotlivé hodnoty fermentačních tabulek 16-21 přepočteny na výtěžnost bioplynu a metanu z daných substrátů (viz Tabulka č. 22).

Tabulka č. 22 – Výsledky laboratorních fermentací vzorků

No	Popis vzorku	Sušina vzorku, %	Celk. výtěžnost BP, l/kg 100% sušiny	Celk. výtěžnost CH ₄ , l/kg 100% sušiny	Výsledná průměrná konc. CH ₄ , %	Celk. výtěžnost BP, l/kg pův.hm.	Celk. výtěžnost CH ₄ , l/kg pův.hm.
1	Tráva před květem A	29,30	378,24	209,06	55,27	110,83	61,25
2	Tráva před květem B	25,10	360,65	185,07	51,32	90,52	46,45
3	Tráva před květem C	23,60	307,22	142,10	46,25	72,50	33,54
4	Tráva před květem D	22,10	361,76	227,03	62,76	79,95	50,17
5	Tráva doba květu A	29,15	240,11	66,82	27,83	69,99	19,48
6	Tráva doba květu B	30,26	251,24	8,95	3,56	76,03	2,71
7	Tráva doba květu C	30,26	278,19	79,52	28,58	84,18	24,06
8	Tráva doba květu D	30,26	224,29	59,52	26,54	67,87	18,01
9	Tráva dozrávání semen A	38,00	330,67	97,36	29,44	125,66	37,00
10	Tráva dozrávání semen B	38,00	249,81	44,59	17,85	94,93	16,94
11	Tráva dozrávání semen C	38,00	195,90	103,37	52,77	74,44	39,28
12	Tráva dozrávání semen D	38,00	330,67	162,32	49,09	125,66	61,68
13	Kukuř. Siláž	32,24	897,82	433,64	48,30	289,46	139,81
14	Kukuř. Siláž	32,24	116,15	0,00	0,00	37,45	0,00
15	Kukuř. Siláž	32,24	601,33	407,20	67,72	193,87	131,28
16	Chrastice	19,88	147,24	54,23	36,83	29,27	10,78
17	Chrastice	19,88	147,24	62,04	42,14	29,27	12,33
18	Chrastice	19,88	120,29	48,95	40,69	23,91	9,73
19	Inokulum	3,71	59,00	19,90	33,78	2,19	0,74

Jednotlivé hodnoty tabulky byly dopočteny dle metodiky (viz kapitola 5). Nejvyšší hodnoty produkce bioplynu a metanu vykazovaly vzorky kukuřičné siláže. Vzorky substrátů z ladem ležících ploch vykazovaly hned po kukuřici nejvyšší hodnoty a to ve všech stádiích odběru. Vzorek substrátu chrastice (jako netradiční plodina) vykazoval nejnižší produkci bioplynu i metanu. Další hodnocení je prováděno z průměrů hodnot.

6.3 Zhodnocení fermentačních výnosů

Ze zjištěných výnosů bioplynu a metanu jednotlivých substrátů, které prošly fermentačním procesem, lze jednotlivé produkce plynů přepočítat na výnos z jednotky tuny substrátu a plochy 1 ha dané plodiny viz tabulka č. 23,24.

Tabulka č. 23 – Zhodnocení výnosu množství produkce bioplynu a metanu z jednotlivých průměrů plodin vztaženo na tunu fermentovaného původního substrátu a výnosu plynu v m³.

Surovina	Průměrné hodnoty	
	Celkové množství BP	Celkové množství CH ₄
	m ³ /t materiálu	m ³ /t materiálu
Z ladem ležících ploch	87,61	34,03
Chrastice před květem	27,49	10,95
Kukuřičná siláž	173,59	90,36

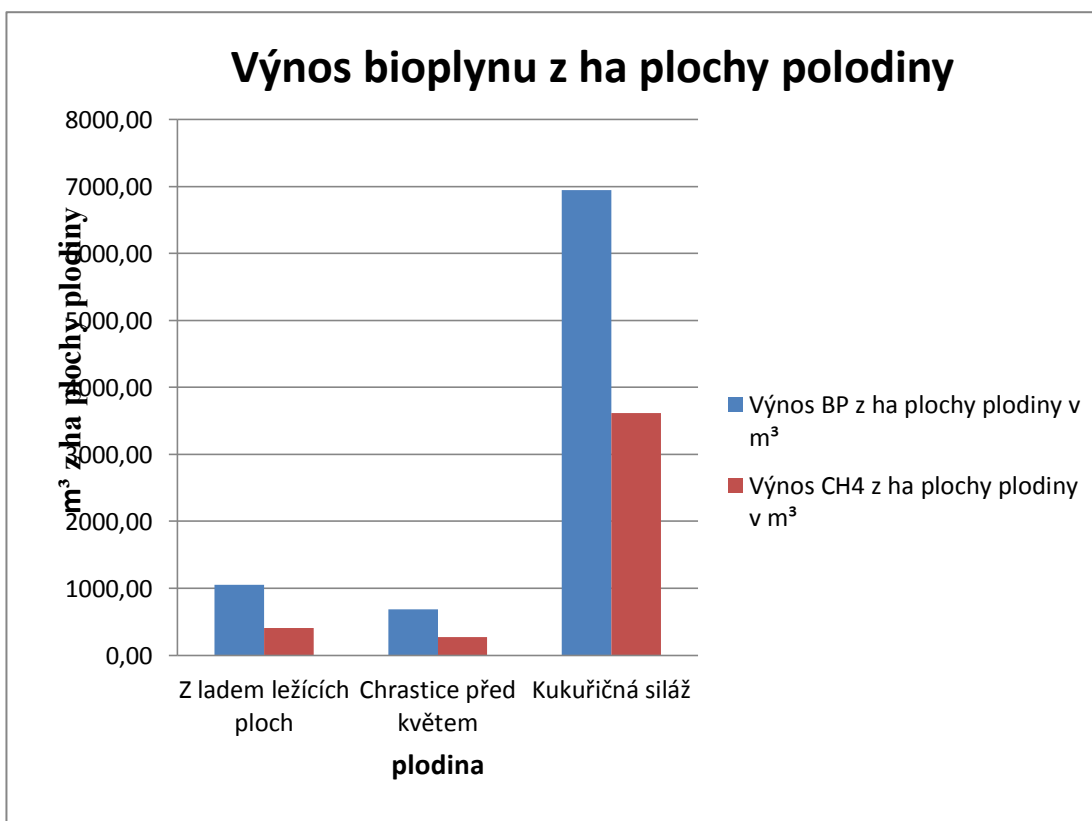
Tabulka znázorňuje přepočet výnosu bioplynu a metanu z průměrů fermentací jednotlivých substrátů z plodin a to z tuny původního materiálu. Z tabulky je patrné, že nejvyšší výtěžnost bioplynu a metanu bylo získáno ze substrátu kukuřičné siláže, která je tradičně v bioplynových stanicích používána. Oproti tomu nevýhodou kukuřičné siláže jsou vyšší náklady na její výrobu, oproti dalším testovaným plodinám (viz kapitola 4.6 Ekonomické zhodnocení nákladů testovaných plodin) a další specifika pěstování kukuřice.

Tabulka č. 24 – Zhodnocení výnosu množství produkce bioplynu a metanu z jednotlivých průměrů původních substrátů plodin vztaženo na ha pěstované plochy plodiny.

Surovina	Průměrné hodnoty	
	Výnos bioplynu v m ³ z ha plodiny	Výnos CH ₄ v m ³ z ha plodiny
Z ladem ležících ploch	1051,00	408,00
Chrastice před květem	687,00	274,00
Kukuřičná siláž	6944,00	3615,00

Tabulka znázorňuje přepočtený výnos bioplynu a metanu z průměrů fermentací jednotlivých substrátů vztaženo na výnosové parametry daných plodin z ha plochy. Jsou zde hodnoceny pouze samotné výnosy bioplynu z ha plochy plodiny. Výrazný a nejvyšší zisk plynu ze substrátu kukuřičné siláže je tvořen hlavně vysokými výnosy kukuřice z hektaru plochy. Tento diametrální rozdíl je vidět v následném grafu (Obrázek č. 3).

Obrázek č. 3 - Grafické znázornění tabulky č. 24



6.4 Ekonomické kalkulace

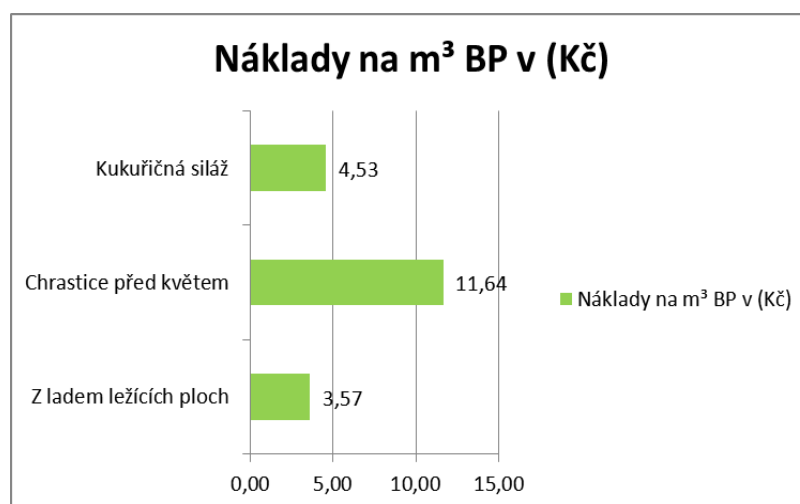
Ze zjištěných hodnot výnosu bioplynu provedenou fermentací jednotlivých substrátů plodin a zjištěním nákladů na produkci jednotlivých substrátů byly kalkulací dopočteny náklady na produkci 1 m³ bioplynu z daného substrátu plodiny viz tabulka č.25 a obrázek č. 4.

Tabulka č. 25 - Ekonomické zhodnocení jednotlivých fermentovaných substrátů

substrát	Výnos biomasy z ha (t)	Náklady za 1 t substrátu (Kč)	Výnos bioplynu z 1t substrátu (m ³)	Výnos bioplynu z ha plodiny (m ³)	Cena 1 m ³ bioplynu vyrobená ze substrátu (Kč)
Z ladem ležící plochy	12	313	87,61	1051	3,57
Chrastice před květem	25	320	27,49	687	11,64
Kukuřičná siláž	40	787	173,59	6944	4,53

Tabulka uvádí přepočet nákladů na výrobu a zpracování jednotlivých substrátů a jejich výnosnost bioplynu z 1 t substrátu provedenou fermentací, výnosnost bioplynu provedenou fermentací z 1 ha dané plodiny a přepočet na náklady výroby 1 m³ bioplynu z každé plodiny. (V tabulce jsou započteny pouze náklady na výrobu plodiny - substrátu z plodiny). Z kalkulace dané tabulky jsou nyní patrné možnosti a ekonomické výhody využití fytomasy z ladem ležících ploch a to v případě i nejčastější konzervace fytomasy (senážování), které je do kalkulace započteno (viz kapitola 4.6 Ekonomické zhodnocení nákladů testovaných plodin). Je patrné, že i přes nízkou výtěžnost biomasy je cena 1m³ BP ze substrátu nejnižší u ladem ležících ploch. Jak zobrazuje následující graf (Obrázek č. 4).

Obrázek č. 4 – Grafické znázornění tabulky č. 25



7 Diskuze

Způsoby využití biomasy se zařazují mezi obnovitelné zdroje energie. Výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů energie dlouhodobě roste, meziročně se zvýšila v ČR o 8,8% (www.issar.cenia.cz). Výroba energie z biomasy se v posledních letech jeví jako nejperspektivnější ze všech obnovitelných zdrojů energie u nás (www.czrea.org).

Hlavní doménou venkovské krajiny je i bude nadále zemědělství. Zemědělství však v posledních letech doznalo velkých změn. Prioritou již není intenzivní produkce potravin a krmiv, ale stále větší pozornost je věnována ekologii krajiny a životnímu prostředí všech subjektů, které se na krajině podílí. Velkou redukcí chovů hospodářských zvířat, hlavně skotu, došlo ke snížení spotřeby objemných krmiv, hlavně sena a travních porostů. Důsledkem je přebytečnost lučních ploch, které začínají být zdrojem nežádoucího odpadu (trávy), k čemuž dochází zejména v podhorských a horských oblastech (Petříková a kol., 1996). To je více vítané pro ekologii krajiny a zamezení půdní eroze, ale má to i své problémy. Jak naložit s trávou z těchto ploch, není-li pro ni dostatek konzumentů (skotu). Posečená tráva se mnohdy ani nesusí a leží na pozemcích. Tato tlející hmota je také nebezpečná z hlediska produkce metanu, tedy skleníkového plynu, o jehož redukcí v atmosféře je nutné v nejvyšší míře usilovat.

Produkce z trvalých travních porostů, ladem ležících pozemků a ploch se stává zbytkovou biomasou. Jednou z využitelných možností je možnost použít tuto fytomasu k výrobě bioplynu. Moderní technologie bioplynových stanic a nejnovější poznatky

umožňují bezproblémové zpracování tohoto materiálu, který lze pro anaerobní fermentaci dobře použít a to jak v čerstvém (zeleném stavu), tak v konzervovaném stavu jako senáž. Travní biomasa také splňuje základní předpoklady pro vstupní substrát na výrobu bioplynu. Obsahuje vysoké procento organické hmoty, má dobrý poměr C:N a obsahuje nízké procento popelovin, jak ukazují rozborů testovaných substrátů (viz kapitola 6.1 data odebraných vzorků, kde obsah popelovin dosahoval v průměru cca 7-8% z organické sušiny). Čímž může konkurovat běžně užívané kukuřičné siláži (v případě užitého substrátu siláže byl obsah popelovin cca 4% z organické sušiny).

Pokusy dokazují, že fytomasa z trvalých travních porostů může být za určitých podmínek vhodnou součástí substrátů pro bioplynové stanice a může celkově snižovat náklady na jejich provoz. V současné době je nejpoužívanější pěstování silážní kukuřice, která je pro pěstitele významná množstvím zelené hmoty i vysokou výtěžností bioplynu, v našem případě v průměru 173,6 l bioplynu*kg⁻¹ užitého substrátu. Naše výsledky poukazují na obdobné výnosy bioplynu jako studie VÁNI (2013), který uvádí možný výnos z kukuřičné siláže kolem 200 l bioplynu*kg⁻¹. Rozdíl však může být pravděpodobně způsoben použitím jiné odrůdy kukuřice, které mají v některých lokalitách větší výtěžnost bioplynu či jiným způsobem měření produkce bioplynu ovlivněné použitím jiné laboratorní metody, či techniky. Stejně tak vyšší výnosy bioplynu ve své studii uvádí i PASTOREK (2004). U travní fytomasy jsou výnosy bioplynu nižší, v našem případě 87,6 l bioplynu*kg⁻¹ substrátu. Je nutné však u kukuřice počítat s vyššími náklady na hnojiva, protože kukuřice je velkým spotřebitelem živin. Nelze u ní šetřit a snižovat doporučené dávky hnojiv (viz příloha č. 1). Výtěžnost bioplynu u zeleného bioodpadu dle UŠŤAKA a VÁNI (2005) je až 110 l bioplynu*kg⁻¹. I v daném případě však záleží hlavně na složení použitého substrátu. Stejně tak uvádí ZHOU a kol., (2012) možnou produkci bioplynu ze zeleného bioodpadu až 130 l bioplynu*kg⁻¹.

Jak vyplývá z ekonomické kalkulace (viz kapitola 6.4 ekonomické kalkulace). Cena nákladů na výrobu substrátu pro výrobu 1m³ bioplynu z ladem ležících ploch vychází v částce 3,57 Kč a je srovnatelná či výhodnější než kukuřičná siláž ve výši nákladů na produkci 1m³ bioplynu v částce 4,53 Kč. Při další ekonomické kalkulaci a výsledků výtěžnosti bioplynu z 1ha kukuřičné siláže, lze vyprodukovat z uvedené plochy 1 ha 6944 m³ bioplynu. Použitím ekvivalentního množství fytomasy z ladem ležících pozemků a ploch je následný rozdíl na substrát z kukuřice a z ladem ležících ploch již

ve výši 6666,- Kč, které lze ušetřit užitím substrátu z ladem ležících ploch. V kalkulacích nejsou zahrnuty další náklady jako například rozdíl výnosnosti mezi plodinami a tím rozdílné náklady na mechanizaci, dopravu atd. Z hlediska ekologie získávání energie z biomasy poměrně kladně ovlivňuje emisní poměry. Při spalování bioplynu se sice uvolňuje CO₂, ale to bylo rostlinami pohlceno při jejich předchozím růstu.

Z těchto poznatků vyplývá, že při vhodně zvolené technologii, je dále možné snižovat ve vstupním substrátu podíl kukuřice a nahrazovat je travní fytomasou, pro kterou dříve nebylo vhodné využití. Zejména v místech, kde pěstovat kukuřici není vhodné (půdy ohrožené erozí, nevhodné půdní a klimatické podmínky pro danou rostlinu). Proto stojí zvážit, zda nepřeměnit nevyužitý či jinak obtížně odstranitelný odpad jako jsou posekané nevyužívané travnaté plochy a zbytky z údržby veřejné zeleně, okolí komunikací, kolejí, přehrad a vodních toků. Jak bylo již řečeno samotná výtěžnost biomasy (a produkce bioplynu) z ladem ležících ploch je relativně malá, ale pokud se vezme v potaz ekonomická kalkulace, tak náklady na 1 m³ bioplynu jsou v tomto případě minimální.

Současný trend ve vývoji energetiky prosazuje vyrovnaný energetický mix jednotlivých druhů energie, tj. klasické fosilní zdroje, uran a obnovitelné zdroje. Zásadní a podstatné pravidlo je, že nejlevnější energie je nevyrobená energie. Úspory a skromnost jsou jediné řešení bez vedlejších dopadů na životní prostředí.

8 Závěr

Cílem diplomové práce byla snaha poukázat na možné využití travní fytomasy při výrobě energií ve spojení s novými poznatky v oblasti ekologie krajiny. Snahou bylo shrnout poznatky dané problematiky s možnostmi využití biomasy pro výrobu bioplynu v bioplynových stanicích. Přeměna biomasy travních porostů anaerobním způsobem přináší vícenásobné zhodnocení takto použité biomasy a to přeměnou na bioplyn s následnou produkcí elektrické energie a tepla. Další přidanou hodnotou je využití odpadního digestátu při hnojení vlastních pozemků a možnost po dalším schválení a dodržení stanovených předpisů i dalšího komerčního využití. V daném případě se to týká především zemědělských bioplynových stanic. Toto řešení by

mohlo pomoci mnohým zemědělským podnikům s velkou výměrou luk a pastvin s velkým přebytkem trávy. Nahrazení vysokých podílů kukuřice, travních siláží by mělo mít i pozitivní vliv na tvorbu krajiny, snížení erozí půdy a zlepšení hospodaření s půdou. Ze získaných výsledků fermentací a výnosů bioplynu z jednotlivých substrátů lze také určit poměr výnosnosti bioplynu z 1 ha kukuřičné siláže k fytomase z ladem ležících ploch, a to v poměru 1:6,6. Lze tedy využitím této fytomasy z přibližně 7 ha ladem ležících ploch (zjištěné výnosy z těchto ploch mohou být rozdílné, dle klimatických, půdních, srážkových a dalších poměrů) nahradit 1 ha orné půdy, na které je pěstována kukuřice a tuto využít pro jiné potravinářské plodiny. Mnohé obce také neví jak likvidovat rostlinný odpad z ošetřování obecních ploch, sportovišť a dalších zařízení. Z ekonomického hlediska lze mimo dotací využít i recyklační poplatek za odebrání fytomasy od okolních obcí. Uvedená biomasa by měla být považována za zdroj energie, zdroj pohonných hmot a surovinu pro chemický průmysl. Cílem práce nebyla snaha poukazovat na nevýhody tradičního substrátu pro výrobu bioplynu – kukuřičné siláže, ale poukázat na možnosti použití jiných materiálů, jako je biomasa z ladem ležících ploch či dnes ještě netradičně pěstovaných plodin jako je chrastice rákosovitá. A to zejména v oblastech kde pěstování kukuřice není z půdních, klimatických či jiných podmínek možné či výhodné. Z pohledu ochrany krajiny, ochrany půdy je vždy výhodnější použití jiných plodin pro výrobu bioplynu než kukuřice. Zhodnocením ekonomického hlediska je využívání fytomasy z ladem ležících ploch a pozemků také výhodné. Využitím i jiných substrátů pro fermentaci než kukuřičná siláž vzniká další možnost výstavby bioplynových stanic v oblastech, kde se kukuřice z různých důvodů nepěstuje, či kde ji lze nahradit fytomasou z ladem ležících ploch či netradiční plodinou, kterou lze pěstovat na půdách nevhodných pro kukuřici, jako jsou rekultivované plochy, výsypky a jiné.

9 Použitá literatura

CZ BIOM - ČESKÉ SDRUŽENÍ PRO BIOMASU, 2004: *Energetické a průmyslové rostliny X: sborník referátů z odborné konference Chomutov*. Vyd. 1. Praha: CZ-Biom, ISBN 80-865-5549-6.

CZ BIOM - ČESKÉ SDRUŽENÍ PRO BIOMASU, 2001: *Energetické a průmyslové rostliny VII: sborník referátů z odborné konference Chomutov*. Vyd. 1. Praha: CZ-Biom. ISBN 80-865-5500-3.

ČESKÉ SDRUŽENÍ PRO BIOMASU, 2003: *Energetické a průmyslové rostliny IX: sborník referátů z odborné konference, Chomutov*. Vyd. 1. Praha: CZ-Biom - České sdružení pro biomasu, ISBN 80-865-5529-1.

FŽP UJEP, 2010: *Acta Universitatis Purkynianae. Studia oecologica*. Ústí nad Labem:, IV, č. 2. ISSN 1802-212x.

JELEMENSKÝ L., GAŠPAROVIČ L., MARKOV J., 2013: *Energetické využití rostlinné biomasy 1: Chemické složení a technologie*. Praha: Biom.cz, Biom.cz. ISSN 1801-2655.

JELÍNEK A., 2001: *Hospodaření a manipulace s odpady ze zemědělství a venkovských sídel*. Praha: Agrospoj, 236 s., ISBN 80-239-4234-4.

KÁRA J., 2007: *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. Praha: VÚZT, 120 s. ISBN 978-80-86884-28-8.

KÁRA J., HUTLA P., PASTOREK Z., 2008: *Využití organických odpadů ze zemědělské výroby a venkovských sídel: sběr, třídění a využití organických odpadů : zařízení pro termické zpracování organických odpadů*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 84 s. ISBN 978-80-86884-40-0.

MAROUŠEK J., 2013: *Two-fraction anaerobic fermentation of grass waste*. Journal of the Science of Food and Agriculture. ISSN 00225142. DOI: 10.1002/jsfa.6046.

MUŽÍK O., KÁRA J., 2009: "Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR." *Biom. cz* (2009).

OCHODEK T., KOLONIČNÝ J., JANÁSEK P., 2006: *Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy: studie v rámci projektu Možnosti lokálního vytápění a výroby elektřiny z biomasy*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 185 s. ISBN 80-248-1207-X.

PASTOREK Z., KÁRA J., JEVIČ P., 2004: *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC Public, 2004, 286 s. ISBN 80-865-3406-5.

PETŘÍKOVÁ V., VÁŇA J., USTJAK S., 1996: *Pěstování a využití technických a energetických plodin na rekultivovaných pozemcích*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 24 s.

PROCHNOW, A., HEIERMANN M., PLÖCHL M., LINKE B., IDLER C., AMON T., HOBBS P.J., 2009: Bioenergy from permanent grassland – A review: 1. Biogas. *Bioresource Technology*. vol. 100, issue 21, s. 4931-4944. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.05.070.

PROCHNOW A., HEIERMANN M., PLÖCHL M., AMON T., HOBBS P.J., 2009: Bioenergy from permanent grassland – A review: 2. Combustion. *Bioresource Technology*. , vol. 100, issue 21, s. 4945-4954. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.05.069.

SHEVLOFF D., 2013: *Briefing: Combined heat and power plants – a reality? Proceedings of the ICE- Energy*.-02-01, roč. 166,č.1, s 3-4. ISSN 1751-4223. DOI: 10.1680/ener.11.00030.

UŠŤAK S., 1997: *Možnosti pěstování energetických rostlin v podkrušnohorské pánevní oblasti: sborník referátů odborného semináře "Energetické a průmyslové rostliny III"*, Chomutov 1997. Vyd. 1. Praha: CZ-Biom, ISBN 80-238-1755-8.

UŠŤAK S., 1998: *Energetické a průmyslové rostliny IV: sborník referátů z odborného semináře*, Chomutov. Vyd. 1. Praha: CZ Biom, ISBN 80-238-3490-8.

UŠŤAK S., Váňa J., 2005: *Bioplynová fermentace biomasy a biologicky rozložitelných odpadů*. CZ-Biom ve spolupráci s Výzkumným ústavem rostlinné výroby, 136 s.

VÁŇA J., 2013: *Bioplynové stanice na využití bioodpadů*. *Biom.cz*. Vyd. 1. Praha: CZ-Biom, ISSN: 1801-2655.

VRÁBLÍKOVÁ, J., 2008: *Revitalizace antropogenně postižené krajiny v Podkrušnohoří*. Vyd. 1. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 148 s. ISBN 978-80-7414-085-3.

WEGER J., HAVLÍČKOVÁ K., 2003: *Biomasa: obnovitelný zdroj energie v krajině*. Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, 51 s. ISBN 80-851-1632-4.

WEGER J., STRAŠIL Z., BUBENÍK J., 2011: *Možnosti pěstování biomasy v kraji Vysočina: energetické plodiny pro výrobu pevných biopaliv a bioplynu*. Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, 56 s. ISBN 978-80-85116-84-7.

XU J., WANG Z., CHENG J.J., 2011: Bermuda grass as feedstock for biofuel production: A review. *Bioresource Technology*, vol. 102, issue 17, s. 7613-7620. DOI: 10.1016/j.biortech.2011.05.070.

ZHOU D.D., WANG J.P.L.CH., LIU Y., 2012: *Anaerobic Fermentation of Cow Dung a Effect of Solid Concentration and Temperature on Biogas Quality*. *Advanced Materials Reserch*, 608-609, č.12, s 419-427, ISSN 1662-8985. DOI 10.4028/www.scientific.net/ AMR. 608-609.419.

Internetové odkazy:

1. AGC – Normativy pro zemědělskou a potravinářskou výrobu, online, citace 10.1.2014, dostupné z:
<http://www.agronormativy.cz/genframes;jsessionid=6C6582CBB99965501E35B030E988FB36?thl=2&snid=7655&otn=str1>
 2. AGC – Normativy pro zemědělskou a potravinářskou výrobu, online, citace 10.1.2014, dostupné z :
<http://www.agronormativy.cz/genframes;jsessionid=6C6582CBB99965501E35B030E988FB36?thl=2&snid=7663&otn=str1>
- APIC-AK – Agrární poradensko-informační centrum Agrární komory ČR, online, citace 15.1.2014, dostupné z:
<http://www.apic-ak.cz/aktualni-prehled-bioplynovych-stanic-v-ceske-republice.php>

3. Česká agentura pro obnovitelné zdroje, online, citace 26.1.2014, dostupné z:
<http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/biomasa>
4. DANUB ENERGY, online, citace 1.12.2013, Dostupné z:
<http://danubenergy.eu/>
5. GBA – Česká bioplynová asociace, online, citace 10.11.2013, dostupné z:
<http://www.czba.cz/index.php?art=page&parent=vse-o-bioplynu&nid=teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>
6. LPIS – Veřejný registr půdy, online, citace 12.1.2014, dostupné z :
<http://eagri.cz/public/app/lpisext/lpis/verejny/>
7. Študlar Z., 2007: Úvod do problematiky energetického využívání biomasy [online] Dostupné z <www.keajc.cz/files/biomasa.pdf> [cit. 10. května]

10 Seznam tabulek a grafů

Tabulka č.1 – Anaerobní proces fermentace

Tabulka č. 2 - Produkce výkalů a množství bioplynu získaného od jednotlivých druhů zvířat

Tabulka č.3 – Produkce bioplynu získaného z různých substrátů

Tabulka č. 4 - Poměr obsahu uhlíku a dusíku v některých materiálech

Tabulka č. 5 – Základní druhy biomasy používané pro anaerobní výrobu bioplynu

Tabulka č. 6 - Netradiční rostliny využitelné k tvorbě biomasy

Tabulka č. 7 - Kukuřice na siláž při sušině celých rostlin 32%

Tabulka č. 8 - Ekonomické zhodnocení technologických postupů pěstování kukuřice na siláž při sušině celých rostlin 32%

Tabulka č. 9 - Chrastice rákosovitá

Tabulka č. 10 - Ekonomické zhodnocení technologických postupů pěstování chrastice rákosovité

Tabulka č. 11 – Ladem ležící plocha - vlastní

Tabulka č. 12 - Ekonomické zhodnocení technologických postupů zpracování ladem ležících ploch

Tabulka č. 13 - Rozbor substrátu fytohmoty z ladem ležících ploch před fermentací

Tabulka č. 14 – Rozbor substrátu kukuřičné siláže a chrastice před fermentací

Tabulka č. 15 – Rozbor standardizovaného inokula před fermentací.

Tabulka č. 16 – Průběh fermentačního procesu inokula

Tabulka č. 17 - Průběh fermentačního procesu substrátu z ladem ležící plochy – odebrané v době před květem.

Tabulka č. 18 –Průběh fermentačního procesu substrátu z ladem ležící plochy – odebrané v době květu.

Tabulka č. 19 – Průběh fermentačního procesu substrátu z ladem ležící plochy – odebrané v době dozrávání semen.

Tabulka č. 20 – Průběh fermentačního procesu chrastice

Tabulka č. 21 – Průběh fermentačního procesu kukuřičné siláže

Tabulka č. 22 - Výsledky laboratorních fermentací vzorků

Tabulka č. 23 - Zhodnocení výnosu množství produkce bioplynu a metanu z jednotlivých průměrů plodin vztaženo na tunu fermentovaného původního substrátu a výnosu plynu v m³.

Tabulka č. 24 - Zhodnocení výnosu množství produkce bioplynu a metanu z jednotlivých průměrů původních substrátů plodin vztaženo na ha pěstované plochy plodiny.

Tabulka č. 25 - Ekonomické zhodnocení jednotlivých fermentovaných substrátů

Obrázek č. 1 - Znázornění modelové bioplynové stanice

Obrázek č. 2 – Zhodnocení průměrné produkce bioplynu a metanu z jednotlivých vzorků dle fermentačních hodnot výnosů

Obrázek č. 3 - Grafické znázornění tabulky č. 24

Obrázek č. 4 - Grafické znázornění tabulky č. 25

11 Přílohy

Příloha č. 1 : Pěstební technologie - Kukuřice na siláž při sušině celých rostlin 32%

Příloha č. 2 : Pěstební technologie - Chrastice rákosovité

Příloha č. 3 : Pěstební technologie ladem ležících ploch

Příloha č. 4 : Tabulka substrátů

Příloha č. 5 : foto chrastice rákosovité

Příloha č. 6 : foto chrastice rákosovité

- Příloha č. 7 : foto odběr vzorků v době před květem
- Příloha č. 8 : foto odběr vzorků v době před květem
- Příloha č. 9 : foto odběr vzorků v době květu
- Příloha č. 10 : foto odběr vzorků v době květu
- Příloha č. 11 : foto odběr vzorků v době zrání semen
- Příloha č. 12 : foto odběr vzorků v době zrání semen
- Příloha č. 13 : foto kukuřice - pole
- Příloha č. 14 : foto kukuřice - pole
- Příloha č. 15 : foto vážení vzorků v VÚRV Chomutov
- Příloha č. 16 : foto mechanické drcení vzorků
- Příloha č. 17 : foto analytický přístroj k měření plynů
- Příloha č. 18 : foto řídicí jednotka modelového laboratorního fermentoru
- Příloha č. 19 : foto modelový analytický fermentor v laboratoři VÚRV Chomutov
- Příloha č. 20 : foto modelový analytický fermentor v laboratoři VÚRV Chomutov
- Příloha č. 21 : foto modelový analytický fermentor v laboratoři VÚRV Chomutov

Příloha č. 1 - Pěstební technologie - Kukuřice na siláž při sušině celých rostlin

32% (www.agronormativy.cz)

Opak. /rok	Operace	Den	Popis	Var.+fixní náklady
0,250	Vápnění	Před podmínkou.	Kalkulace 2t/ha mletého vápence	2800,- Kč* ha ⁻¹ služba
1,000	Podmítka	Po rozdrčení nebo odvozu slámy obilovin.	10 – 12 cm hloubka. Talířový podmítač	635,- Kč* ha ⁻¹
1,000	Hnojení PK	Nejpozději týden před orbou.	Aplikace PK podle zásoby v půdě. Při dobré zásobě 22kg/ha P (50kg/ha P ₂ O ₅) v superfosfátu (250kg/ha) a 58 kg/ha K (70kg/ha K ₂ O v draselné soli (140kg/ha).	3387,- Kč* ha ⁻¹ Rozmetadlo prům. hnojiv, nakladač
0,400	Hnojení organickým i hnojivy	Těsně před orbou	Rozmetání organických hnojiv v dávce 40t/ha, ihned zaorat, nejpozději do konce září.	14160,- Kč* ha ⁻¹ Rozmetadlo org. hnojiv, nakladač
1,000	Zaorávka hnoje	Září	Střední orba (20-25 cm) s úpravou oranice	1550,- Kč* ha ⁻¹ pluh s drobicím zařízením
1,000	Časná jarní úprava oranice	Březen	Po oschnutí povrchu brázd, hloubka 3-4 cm, mech. likvidace vzházejících plevelů.	290,-Kč* ha ⁻¹ hřebenové brány
1,000	Kypření půdy	Začátek dubna	Kypření půdy kypřiči, mech. likvidace plevelů.	525,- Kč* ha ⁻¹ Radličkové a rotační kypřiče
1,000	Hnojení N před setím	Do 20.4.	Dvě třetiny dávky dusíku, podle, podle dávky hnoje a předpokládaného výnosu, cca 90 kg/ha v LAV	1617,- Kč* ha ⁻¹ rozmetadlo prům. hnojiv

1,000	Předset'ová úprava	Do 25.4	Kypření půdy kypřičem do hloubky výsevu podle charakteru půdy a vláhových podmínek 6-8 cm.	740,- Kč* ha ⁻¹ kombinátor
1,000	Setí přesným secím strojem	Do 5.5	Kvalitní mořené osivo, při počtu 80-100 tis.rostlin/ha Min. teplota půdy 6-8 st. C.	4550,- Kč* ha ⁻¹ přesný secí stroj
1,000	První aplikace herbicidů	Ihned po zasetí	Aplikace na klíčící semena jednoletých plevelů Dual 960 EC (1,5-2l/ha), Guardian EC (1,7-3,5l/ha) a TROPHY (2l/ha) na jednoleté trávovité.	1255,- Kč* ha ⁻¹ postřikovač, cisterna na vodu
0,500	Válení	Po zasetí	Pouze v případě nízké zásoby vody v půdě. Ve vlhkých letech – neprovádět.	345,- Kč* ha ⁻¹ hladké válce
1,000	Hnojení N po vzejití	Fáze 5-6 listu	Podlistová nebo listová aplikace dusíku (aplikace močůvky do meziřádků) v dávce 1/3 celkové dávky, cca 25 kg/ha -LAV,DAM	918,- Kč* ha ⁻¹ rozmetadlo prům. hnojiv, nebo močůvkovač
1,000	Druhá aplikace herbicidů	Fáze 2-4 listů	Dle zaplevelení pozemku. Lantagran WP (2 kg/ha) – laskavce, merlíky, Titus 25 WG (50g/ha)-pýr, oves hluchý, Tell 75 (30 g/ha) – pýr, rdesna	1305,- Kč* ha ⁻¹ postřikovač, cisterna na vodu
1,000	Sklizeň na siláž	Vosková zralost 30-35% sušiny	Sklízecí řezačka s řádkovým adaptérem s procesorem, délky řezanky 0,5-2cm, v procesoru musí dojít k rozetření zrna.	2164,- Kč* ha ⁻¹ sklízecí řezačka s adaptérem a procesorem
1,000	Odvoz sklizené hmoty	Ihned po sklizni	Odvoz řezanky ke konzervaci	1715,- Kč* ha ⁻¹ traktorová dopravní souprava
1,000	Konzervace do žlabů	Ihned po sklizni	Dusání musí probíhat nepřetržitě s navážením a	2958,- Kč* ha ⁻¹ traktor

			rozhrovnáním	s dusacím zařízením
1,000	Zakrytí	Ihned po naskladnění	PVC fólií po ukončení dusání	315,- Kč* ha ⁻¹ autojeřáb

Příloha č. 2 - Pěstební technologie Chrastice rákosovité (www.agronormativy.cz)

Opak. /rok	Operace	Den	Popis	Var.+fixní náklady
0,050	Sečení plevelů	Podzim před podmítkou	Na silně zaplevelených pozemcích a zejména na ladem ležících půdách. Mulčování nebo posečení vysoko vzrůstových plevelů	595,- Kč* ha ⁻¹ mulčovač nebo žací stroj
0,300	Vápnění	Podzim, před podmítkou nebo orbou	Vápnění na půdách s pH<a to jednou za 3 roky, dolomitickým vápencem cca 2- 2,2 t/ha, na těžších půdách lze použít pálené vápno	3150,- Kč* ha ⁻¹ služba
0,100	Podmítka	Podzim, po sklizni předplodiny	Hloubka zpracování 8-12 cm. Co nejdříve po sklizni předplodiny, nebo mulčování, nebo sečení.	635,- Kč* ha ⁻¹ talířový podmítač nebo radličkový kypřič
0,025	Hnojení P	Podzim, těsně před orbou	Aplikace hnojiva s obsahem fosforu (superfosfát) a to pouze při nízké zásobě P v půdě (méně než 50 mg/kg	4727,- Kč* ha ⁻¹ rozmetadlo průmyslovýc

			půdy. Hnoji se 40-60kg P/ha, tj. 482-722 kg/ha 19% superfosfátu.	h hnojiv, nakladač
0,100	Hnojení K	Podzim, těsně před orbou	Aplikace hnojiva s obsahem draslíku (DS- draselná sůl), pouze při nízké zásobě přístupného K v půdě – méně než 170 mg/kg půdy. Hnojí se v dávce 80-100 kg K/ha, tj. 160-200 kg/ha 60% DS.	2129,- Kč* ha ⁻¹ rozmetadlo průmyslových hnojiv, nakladač
0,100	Hnojení kaly ČOV	Podzim, těsně před orbou	Hnojení kaly ČOV za účelem zvýšení zásoby živin a org. Látek. Je nutno dodržovat stanovené předpisy dle vyhlášky MŽP ČR č. 382/2001 Sb.	1675,- Kč* ha ⁻¹ rozmetadlo org. Hnojiv, nakladač
0,100	Orba s urovnáním	Podzim X-XI	Střední orba 20-25 cm hluboká s urovnáním nebo bezprostředně s orbou za účelem rozdrobit a urovnat povrch půdy a zabránit tvorbě ztvrdlých hrud	1490 Kč* ha ⁻¹ pluh, smyk, ozubený válec
0,050	Likvidace plevelů	Jaro III-V	Na silně zaplevelených pozemcích – likvidace plevelů chem. Postřikem min. 2 týdny před založením porostu (Roundup, Tuchdown) dávka dle výrobce, obvykle 3l/ha. Podmínkou je nárůst plevelů do cca 15-20 cm výšky	771,- Kč* ha ⁻¹ postřikovač, cisterna na vodu

0,100	Vláčení a válení	Jaro III-V	Předset'ové vláčení a válení nebo úprava půd kombinátorem. Při chem. aplikaci herbicidů min. 2 týdny po aplikaci.	740,- Kč* ha ⁻¹ válec, brány nebo kombinátor
0,100	Setí	Jaro-léto IV-VI	Univerzálním secím strojem v dávce 20-25 kg/ha do hloubky 1-1,5 cm a do řádků 12,5 cm.	1205,- Kč* ha ⁻¹ . Secí stroj univerzální s aplikací na jetel.
0,100	Válení	Ihned po zasetí	Válení po zasetí rýhovanými nebo těžkými hladkými válci, aby se podpořilo vzlínání vody k osivu.	250,- Kč* ha ⁻¹ rýhované nebo těžké hladké válce
0,100	Sečení plevelů	3-5 týdnů po vzejití	Na silně zaplevelených pozemcích potlačujících vzcházející plodinu se seče ve výšce plevelu 6-10cm	595,- Kč* ha ⁻¹ mulčovač nebo žací stroj
0,025	Likvidace dvouděložných plevelů	3-5 týdnů po vzejití	Na pozemcích silně zaplevelených dvouděložnými plevele, přípravkem Agritox nebo Aminex 2,5l/ha. Při výšce plevele 5-10cm.	824,- Kč* ha ⁻¹ postřikovač, cisterna na vodu
0,100	Hnojení P	Na jaře nebo po sklizni	Aplikace hnojiva s obsahem fosforu (superfosfát) a to pouze při nízké zásobě přístupného P v půdě (méně než 50 mg/kg půdy. Hnoji se 20-30kg P/ha, tj	2404,- Kč* ha ⁻¹ rozmetadlo prům. hnojiv,

			241-482 kg/ha 19% superfosfátu.	nakladač
0,100	Hnojení K	Na jaře nebo po sklizni	Aplikace hnojiva s obsahem draslíku (DS- draselná sůl), pouze při nízké zásobě přístupného K v půdě – méně než 170 mg/kg půdy. Hnojí se v dávce 60-90 kg K/ha, tj. 120-180 kg/ha 60% DS.	1067,- Kč* ha ⁻¹ rozmetadlo prům. hnojiv, nakladač
0,200	Hnojení N	Jaro III-IV	Regenerační hnojení na počátku obrůstání 40-60kg N/ha LAV, LV tj. 145-218 kg LAV 27,5%N volně loženého nebo 266-400 kg/ha LV 15%N volně loženého	1584,-Kč* ha ⁻¹ rozmetadlo průmyslových hnojiv, nakladač
0,300	Hnojení org. hnojivy	Jaro III-IV	Regenerační hnojení na počátku obrůstání: 20-30 m ³ /ha, tj. 40-60 kg/haN či aplikace kejdy 10-15m ³ /ha. Alternativa ke hnojení N.	2505,- Kč* ha ⁻¹ , tlakové radličkové aplikátory, cisterna na kaly
0,500	Hnojení kaly ČOV	Jaro III-IV	Regenerační hnojení na počátku obrůstání: hnojení tekutými kaly ČOV 10-20m ³ /ha se sušinou v rozmezí 5-18%, tj. cca 20-30 kg/ha dusíku při jeho průměrném obsahu v kalu 2-4%. Nutno dodržet stanovené předpisy MŽP ČR č. 382/2001 Sb.kalkulace aplikace 1,725	1005,- Kč* ha ⁻¹ , tlakové radličkové aplikátory, cisterna na kaly

			tun sušiny kalu na 1 ha.	
2,000	sečení	Jaro-podzim	Sklizeň ve fázi potřebné sušiny	595,- Kč* ha ⁻¹ žací stroj
2,000	Sběr zavadlé píce	Seč +1-2	Při sušině 20-30 %.	1400,- Kč* ha ⁻¹ , sklízecí řezačka se sběracím ústrojím
2,000	Odvoz zavadlé píce	Seč + 1-3		257,- Kč* ha ⁻¹ traktorová dopravní souprava
2,000	Uložení zavadlé píce do senážního žlabu	Seč + 3-6	Rozhrnování dusání, zakrytí fólií, zatížení, použití konzervantů.	1101,- Kč* ha ⁻¹ , traktor s radlicí, fólie, autojeřáb
1,000	Hnojení N	Letní období VII-VIII	Po letní sklizni 40-60kg N/ha LAV,LV tj. 145-218 kg LAV 27,5%N volně loženého nebo 266-400 kg/ha LV 15%N volně loženého	1584,-Kč* ha ⁻¹ rozmetadlo průmyslovýc h hnojiv, nakladač
0,150	Hnojení org. hnojivy	Letní období VII-VIII	Po letní sklizni močůvkování 20-30 m ³ /ha dusíku tj. 40-60 kg/ha N či aplikace kejdy 10- 15 m ³ /ha tj. cca 40-60 kg/ha N. Alternativa ke hnojení N.	2505,- Kč* ha ⁻¹ rozmetadlo organických hnojiv,

				nakladač
0,250	Hnojení kaly ČOV	Letní období VII-VIII	Po letní sklizni: hnojení tekutými kaly ČOV 10- 20m ³ /ha se sušinou v rozmezí 5-18%, tj. cca 20-30 kg/ha dusíku při jeho průměrném obsahu v kalu 2-4%. Nutno dodržet stanovené předpisy MŽP ČR č. 382/2001 Sb.kalkulace aplikace 1,725 tun sušiny kalu na 1 ha.	1005,- Kč* ha ⁻¹ , tlakové radličkové aplikátory, cisterna na kaly
1,000	Mulčování	Podzim	Před koncem vegetace- posekat porosty na výšku porostu cca 5 cm mulčovačem za účelem vyloučení jarního vyvlačování stařiny. Při porostu nižším než 20 cm lze použít místo mulčovače obyčejnou sekačku s tím, že se posekaná hmota ponechá na poli jako mulč.	720,-Kč* ha ⁻¹ mulčovač nebo žací stroj

Příloha č. 3 - Pěstební technologie ladem ležících ploch (www.agronormativy.cz)

Opak. /rok	Operace	Den	Popis	Var.+fixní náklady
2,000	Seč	1. Květen, červen 2. Srpen	Sklizeň na senáž	595,- Kč* ha ⁻¹ , rotační žací stroj
2,000	Sběr zavadlé píce sklízecí řezačkou	Seč + 1-3	Při dosažení sušiny 30- 40%.	1177,- Kč* ha ⁻¹ , sklízecí řezačka

2,000	Odvoz zavadlé píce	Seč + 1-3		257,- Kč* ha ⁻¹ traktorová dopravní souprava
2,000	Uložení zavadlé píce do senážního žlabu	Seč + 5-8	Senážování zavadlé píce 28-40 %, rozhrnování dusání, zakrytí fólií, zatížení, použití konzervantů.	1101,- Kč* ha ⁻¹ , traktor s radlicí, fólie, autojeřáb

Příloha č. 4 - Tabulka substrátů

substrát		Sušina (%)	Spal. Látky (%)	Popel (%)	Vsázka	Vsázka	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)	
	Inokulum	3,71	76,64	23,36	Substrát (g)	Inokulum (g)	Celk. org. sušina inokula	Celk. org. sušina substrátu	Celkem celk. org. sušiny	Org. sušina inokula	Org. sušina substrátu	Poměr
Před květem												
	Substrat A	29,3	91,3	8,7	12,66	487,34	18,08	3,71	21,79	13,86	3,39	0,24
	Substrat B	25,1	91,5	8,5	14,78	485,22	18,00	3,71	21,71	13,80	3,39	0,25
	Substrat C	23,6	90	10	15,72	484,28	17,97	3,71	21,68	13,77	3,34	0,24
	Substrat D	22,1	92,6	7,4	16,79	483,21	17,93	3,71	21,64	13,74	3,44	0,25
V květu												
	Substrat A	29,15	93,29	6,71	12,73	487,27	18,08	3,71	21,79	13,85	3,46	0,25
	Substrat B	30,26	92,33	7,67	12,26	487,74	18,10	3,71	21,81	13,87	3,43	0,25
	Substrat C	30,26	93,37	6,63	12,26	487,74	18,10	3,71	21,81	13,87	3,46	0,25
	Substrat D	30,26	92,48	7,52	12,26	487,74	18,10	3,71	21,81	13,87	3,43	0,25
Dozrávání semen												
	Substrat A	38	93,32	6,68	9,76	490,24	18,19	3,71	21,90	13,94	3,46	0,25
	Substrat B	38	91,77	8,23	9,76	490,24	18,19	3,71	21,90	13,94	3,40	0,24
	Substrat C	38	92,22	7,78	9,76	490,24	18,19	3,71	21,90	13,94	3,42	0,25
	Substrat D	38	92,86	7,14	9,76	490,24	18,19	3,71	21,90	13,94	3,45	0,25
kukuřičná siláž												
	Substrát A	32,24	95,96	4,04	11,51	488,49	18,12	3,71	21,83	13,89	3,56	0,26
	Substrát B	32,24	95,96	4,04	11,51	488,49	18,12	3,71	21,83	13,89	3,56	0,26
	Substrát C	32,24	95,96	4,04	11,51	488,49	18,12	3,71	21,83	13,89	3,56	0,26
Chrastice												
	Substrát A	19,88	89,2	10,8	18,66	481,34	17,86	3,71	21,57	13,69	3,31	0,24
	Substrát B	19,88	89,2	10,8	18,66	481,34	17,86	3,71	21,57	13,69	3,31	0,24
	Substrát C	19,88	89,2	10,8	18,66	481,34	17,86	3,71	21,57	13,69	3,31	0,24

V příloze č. 4 jsou uvedeny hodnoty:

Sušina (%) – sušina vzorku v jednotce % - zjištěno sušením v VÚRV Chomutov

Spalitelné látky (%) – spalitelné látky v podílu sušiny v % - zjištěno rozбором sušiny v VÚRV Chomutov

Popel (%)-popel v podílu sušiny v % - zjištěno rozбором sušiny v VÚRV Chomutov

Vsázka substrát (g) - váha substrátu do fermentace (vsázky) v gramech – dopočteno dle směšovací rovnice = gramy.

Vsázka inokulum (g) - váha inokula do fermentace (vsázky) v gramech – dopočteno dle velikosti vsázky 500g – vsázka substrátu = gramy

Celková organická sušina inokula (g) – dopočteno (vsázka inokula (g) * sušina inokula)/100 = gramy

Celková organická sušina substrátu (g) – dopočteno (sušina substrátu*vsázka substrátu/100 = gramy

Celkem celková organická sušina (g) - dopočteno (Celková organická sušina inokula+ Celková organická sušina substrátu) = gramy

Organická sušina inokula (g) - dopočteno (Celková organická sušina inokula*spalitelné látky inokula/100) = gramy

Organická sušina substrátu (g) – dopočteno (Celková organická sušina substrátu*spalitelné látky substrátu/100) = gramy

Poměr – dopočteno (Organická sušina substrátu/ Organická sušina inokula)

Obrázek 5 : Chrastice rákosovitá - autor



Obrázek 6 : Chrastice rákosovitá - autor



Obrázek 7 : Odběr vzorků v době před květem - autor



Obrázek 8 : Odběr vzorků v době před květem - autor



Obrázek 9 : Odběr vzorků v době květu - autor



Obrázek 10 : Odběr vzorků v době květu - autor



Obrázek 11 : Odběr vzorků v době zrání semen - autor



Obrázek 12 : Odběr vzorků v době zrání semen - autor



Obrázek 13 : Kukuřice – pole – autor



Obrázek 14 : Kukuřice – pole – autor



Obrázek 15 : Vážení vzorků v VÚRV Chomutov – autor



*Vážení vzorku
VÚRV - Chomutov*

Obrázek 16 : Mechanické drcení vzorků – autor



*Drtič zahradního odpadu
VÚRV - Chomutov*

Obrázek 17 : Analytický přístroj k měření plynů – autor



Obrázek 18 : Řídící jednotka modelového laboratorního fermentoru – autor



Obrázek 19 : Modelový analytický fermentor v laboratoři VÚRV Chomutov – autor



Obrázek 20 : Modelový analytický fermentor v laboratoři VÚRV Chomutov – autor



Obrázek 21 : Modelový analytický fermentor v laboratoři VÚRV Chomutov – autor

