

JIHOČESKÁ UNIVERZITA v ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: Zemědělství

Studijní obor: Trvale udržitelné systémy hospodaření v krajině

Katedra: Katedra Agroekosystémů

Vedoucí katedry: doc. Ing. Petr Konvalina, Ph.D.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Pěstování *Silphium perfoliatum* L. pro energetické účely a hodnocení
produkčních schopností**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Bernas, Ph.D.

Autor bakalářské práce: David Malina

ČESKÉ BUDĚJOVICE 2018

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta zemědělská
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David MALINA**
Osobní číslo: **Z15153**
Studijní program: **B4131 Zemědělství**
Studijní obor: **Trvale udržitelné systémy hospodaření v krajině**
Název tématu: **Pěstování *Silphium perfoliatum* L. pro energetické účely a
hodnocení produkčních schopností**
Zadávací katedra: **Katedra agroekosystémů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Úvodní část: Úvod do problematiky pěstování *Silphium perfoliatum* L..
2. Literární přehled: Sestavit literární přehled shrnující aktuální problematiku pěstování mužáku prorostlého (*Silphium perfoliatum* L.).
3. Metodická část: Seznámit se s metodikou zakládání a ošetřování porostů mužáku prorostlého (*Silphium perfoliatum* L.) v rámci polních pokusů, podílet se na praktickém ošetřování porostu a sledovat růstové vlastnosti v průběhu vegetace, studium doporučené literatury a zpracování rešeršní části práce, zpracování a analýza vzorků dle dostupných metod.
4. Výsledková část: Zpracování experimentálních dat, posouzení vhodnosti mužáku prorostlého (*Silphium perfoliatum* L.) pro energetické účely na základě získaných dat, vyhodnocení výsledků práce
5. Diskuzní část: Srovnání výsledků s údaji dostupnými v literatuře
6. Závěrečná část práce: Shrnutí hlavních výsledků práce.

Rozsah grafických prací: dle potřeby (tabulky, grafy, fotografická příloha)

Rozsah pracovní zprávy: 30-40 stran včetně příloh

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. Albrecht, K. A., & Goldstein, W. (1997, June). Silphium perfoliatum: A North American prairie plant with potential as a forage crop. In Conference June 8-19 Conference Year, Winnipeg (pp. 167-168).
 2. Gansberger, M., Montgomery, L. F., & Liebhard, P. (2015). Botanical characteristics, crop management and potential of Silphium perfoliatum L. as a renewable resource for biogas production: A review. *Industrial Crops and Products*, 63, 362-372.
 3. Haag, N. L., Nägele, H. J., Reiss, K., Biertümpfel, A., & Oechsner, H. (2015). Methane formation potential of cup plant (*Silphium perfoliatum*). *Biomass and Bioenergy*, 75, 126-133
 4. Ochodek, T., Koloničný, J., & Janásek, P. (2006). Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy. ISBN, 80, 248-1207.
 5. Slepetyš, J., Kadziuliene, Z., Sarunaite, L., Tilvikiene, V., & Kryzeviciene, A. (2012). Biomass potential of plants grown for bioenergy production. In *Proceedings of the International Scientific Conference "Renewable Energy and Energy Efficiency"* (pp. 66-72).
 6. Stanford, G. (1990, August). *Silphium perfoliatum* (cup-plant) as a new forage. In *Proceedings of the Twelfth North American Prairie Conference*, Cedar Falls, IA (pp. 33-37).
 7. Ustřák, S. (2012). Možnosti pěstování mužáku prorostlého *Silphium perfoliatum* L. pro výrobu bioplynu. Metodika pro praxi, Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 31 s.. ISBN: 978-80-7427-099-4
- Doporučené zdrojové databáze:
8. Organic eprints
 9. Scholar.google

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Bernas
Katedra agroekosystémů

Datum zadání bakalářské práce: 15. února 2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 15. dubna 2018


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentická 1888, 370 05 České Budějovice


doc. Ing. Petr Konvalina, Ph.D.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 27. března 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47 b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 2018

.....

David Malina

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Jaroslavu Bernasovi, Ph.D. za připomínky, cenné rady a poskytnuté informace. Zároveň bych chtěl poděkovat za jeho trpělivost a veškerou pomoc při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl také poděkovat technickým pracovníkům katedry, bez kterých by praktická část na pozemku nebyla možná.

Abstrakt

Předmětem této bakalářské práce je „Pěstování *Silphium perfoliatum* L. pro energetické účely a hodnocení produkčních schopností“. Jedním z nejvýznamnějších obnovitelných zdrojů energie je energie fytohmoty. V poslední době došlo k významnému rozvoji pěstování energetických rostlin, jako suroviny pro výrobu bioplynu v bioplynových stanicích. V podmínkách České republiky se jedná především o kukuřici setou. Pěstování kukuřice je však v mnoha ohledech nežádoucí. Nese s sebou environmentální problémy spojené například s vodní erozí. Jednou z možností, jak tyto problémy eliminovat, je náhrada kukuřice jinými rostlinami, vhodnými k těmto účelům. Možnou alternativu představuje pěstování víceletých energetických rostlin. Jednou z nich je také mužák prorostlý (*Silphium perfoliatum* L.), který je v podmínkách ČR pěstován jen sporadicky. Cílem této bakalářské práce je zhodnotit produkční schopnosti mužáku prorostlého a posoudit možnosti jeho zavedení jako alternativy při pěstování kukuřice seté.

Klíčová slova: Bioplynová stanice, metan, bioplyn, mužák, kukuřice

Abstract

The subject of this study is "Cultivation of *Silphium perfoliatum* L. for energy purposes and evaluation of production capacities". One of the most important renewable energy sources is the energy of phytomass. Recently there has been a significant development of the cultivation of energy plants, as a raw material for biogas production in biogas stations in the conditions of the Czech Republic is mainly a maize. Cultivation of maize is in many ways undesirable. It carries with environmental problems associated, for example, with water erosion. One of the ways to solve these problems is to replace maize with other plants suitable for these purposes. A possible alternative is the cultivation of multi-annual energy plants. One of them is also the *Silphium perfoliatum* L., which is sporadically cultivated in the Czech Republic. The aim of this study is to evaluate the production capabilities of the *Silphium perfoliatum* L. and to evaluate the possibilities of his introduction as an alternative in the cultivation of maize sets.

Keywords: Biogas station, methane, biogas, silphium, maize

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Literární přehled	10
2.1	Obnovitelné zdroje energie.....	10
2.1.1	OZE v České republice	11
2.1.2	Biomasa.....	12
2.2	Bioplynové stanice	15
2.2.1	Zemědělské BPS	16
2.2.2	Průmyslové BPS	16
2.2.3	Komunální BPS.....	17
2.2.4	Bioplyn.....	17
2.3	Biopaliva	20
2.3.1	Bioetanol	20
2.3.2	Bionafta.....	21
2.4	Využití biomasy v bioplynových stanicích	22
2.5	Energetické rostliny.....	22
2.5.1	Rychle rostoucí dřeviny	23
2.5.2	Jednoleté energetické rostliny	24
2.5.3	Víceleté energetické rostliny.....	24
2.5.4	Technologie, zpracování a využití energetických plodin.....	25
2.6	Mužák prorostlý (<i>Silphium perfoliatum</i> L.)	26
2.6.1	Příprava a požadavky půdy	27
2.6.2	Založení porostu.....	27
2.6.3	Ošetřování porostu	28
2.6.4	Sklizeň.....	29
3	Cíl bakalářské práce.....	30
4	Materiál a metodiky	31

4.1	Lokalita.....	31
4.2	Péče o porost	31
4.3	Stanovení skutečné výtěžnosti metanu ze vzorku	34
4.3.1	Podrobnější popis metody	35
5	Výsledky a diskuze	37
6	Závěr	48
7	Seznam literatury	50
8	Přílohy.....	56
	Seznam použitých zkratk	56
	Seznam obrázků	56
	Seznam tabulek.....	56
	Seznam grafů.....	57

1 Úvod

Žijeme v době, kdy zatím nepocítujeme nouzi o fosilní paliva, ovšem tyto zásoby nejsou bezedné a bohužel většina populace si tento fakt neuvědomuje. Úbytek těchto energetických zásob byl podnětem pro rozvoj alternativních způsobů, ty se postupně začleňují do tradičního zemědělství. Pomocí těchto přístupů lze eliminovat například negativní dopady spojené se zpracováváním zmiňovaných fosilních paliv. Už v této době existuje mnoho opatření, díky kterým této hrozbě předcházet. Je nutné myslet na to, v jakém stavu naši planetu zanecháváme budoucím generacím. Proto v dnešní době existují mnohá opatření, která ošetřují zásady ekologického zacházení se životním prostředím. Nabízí se využívání tzv. alternativních rostlin jako nový zdroj energie. V současné době roste počet pěstitelů těchto plodin. Významně tomu přispívá Evropská unie poskytováním finančních dotací, určených pro rozvoj ekologického zemědělství. Zvolit správnou plodinu vzhledem ke spoustě faktorů, které musí být brány v potaz, není ovšem jednoduché. Každý zemědělec by si měl předem rozmyslet, jaké plodiny do osevního postupu zařadí, aby jeho pěstování bylo co nejefektivnější. Závisí na pěstební oblasti, agrotechnickém vybavení, znalostech potenciálu výnosnosti a správných termínech. Výnosnost jednotlivých alternativních rostlin je odlišná. Všechny tyto parametry se pak v budoucnu odrazí na nákladech a případném zisku.

2 Literární přehled

2.1 Obnovitelné zdroje energie

Definice obnovitelných zdrojů energie podle zákona 17/1992 Sb. zní následovně: „Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka.“ Hrozba globálních změn klimatu je v současné době jedním z nejvíce diskutovaných témat. Mnozí odborníci považují právě toto za nejzávažnější problém lidstva. energii akumulovanou do fosilních paliv dnes spotřebováváme rychleji, než se tvoří. Na toto téma se uskutečnilo mnoho významných mezinárodních konferencí. Tou zřejmě nejznámější je konference v Kjótu roku 1997. Hlavní příčiny změn klimatu pochází z využívání energie. Její výroba i spotřeba negativně ovlivňuje životní prostředí a stává se hlavním zdrojem skleníkových plynů, které se v atmosféře nacházejí. Největší zastoupení skleníkových plynů má oxid uhličitý. Pokud se podíváme na situaci v České republice, je využívání energie odpovědné za více než 80 % emisí právě tohoto plynu. (LIBRA, 2006). Obnovitelné zdroje energie (OZE) mají své nezastupitelné místo v energetické koncepci a politice mnohých států, ať už vzhledem k mezinárodním závazkům nebo nutnosti snižování emisí skleníkových plynů. Využívání tradičních zdrojů energie není udržitelná cesta vzhledem k dopadům na životní prostředí. OZE jsou tedy nutnou alternativou. Tyto zdroje mají svá specifika a nelze jimi zcela nahradit systémové zdroje. Je proto velmi nutné klást důraz na efektivní realizace, vycházející z místních konkrétních podmínek pro daný typ OZE. (SBORNÍK MŽP, 2006). Obnovitelné zdroje energie lze jednoduše charakterizovat jako zdroje, které mají schopnost se sami obnovovat přírodními procesy a které jsou v podstatě nevyčerpatelné. v našich podmínkách nejčastěji hovoříme o energii vody, biomasy, větru a prostředí. OZE jsou v dnešní době velmi diskutovaným tématem. Oproti tradičním (fosilním) palivům, jako je ropa, uhlí, zemní plyn apod., OZE minimálně zatěžují životní prostředí a jsou šetrnější k přírodě. Zároveň nedochází k nadprodukcí škodlivých plynů. Oproti fosilním palivům nejsou OZE spojené s náklady na přepravu. Přesto prvotní investice na zprovoznění technologií je poměrně vysoká. Dalším negativem může být i proměnlivost přírodních podmínek (ORAVOVÁ, 2010).

Tabulka 1: Přehled základních OZE v ČR

Zdroj energie	Elektrická energie	Teplo
Voda	Vodní elektrárny	-
Vítr	Větrné elektrárny	-
Slunce	Fotovoltaické elektrárny	Solární kolektory
Prostředí	Geotermální elektrárny	Tepelná čerpadla
Biomasa	Bps, spalovny biomasy	Kotle na biomasu

Zdroj: SRDEČNÝ (2000)

2.1.1 OZE v České republice

V České republice, v souladu se Státní politikou životního prostředí a Státní energetickou koncepcí, hrají OZE důležitou roli a velkou mírou přispívají k udržitelnému rozvoji. v podmínkách našeho státu má jeden z největších potenciálů využívání biomasy. Na rozdíl od energetického využívání zemního plynu zůstávají výtěžky z provozování zdrojů na biomasu v místě produkce. Biomasa ale není jediný obnovitelný zdroj, o kterém se v rámci České republiky můžeme bavit. Nelze opomenout energii sluneční. Bohužel ale tato energie byla zneužita tzv. „solárními barony“, kteří ve velkém měřítku přečerpávali evropské dotace. Došlo k rozsáhlému vybudování slunečních elektráren znehodnocující krajinný ráz (QUASCHNING, 2010). Podle Energetického regulačního úřadu (ERÚ) podíl OZE na hrubé domácí spotřebě vzrostl od roku 2008 do roku 2013 z 5,70 % na 14,53 %. Do roku 2020 si navíc Evropská unie určila plán, pokrýt 20 % energetické spotřeby z OZE energie. Každému členskému státu tak přiřadila individuální cíl, na základě výchozích a geografických podmínek. Česká republika se závazkem 13 % podílu energie z OZE již překonala (ERÚ, 2015).

Tabulka 2: Celková energie z OZE v roce 2016

	Energie z OZE celkem (GJ)	Odhad podíl na PEZ (%)	Podíl na energii z OZE (%)
Biomasa (mimo domácnosti)	47 269 179	2,71 %	25,58 %
Biomasa (domácnosti)	74 394 528	4,26 %	40,26 %
Vodní elektrárny	7 201 758	0,41 %	3,90 %
Bioplyn	25 160 188	1,44 %	13,62 %
Biologicky rozl. část TKO	3 581 155	0,21 %	1,94 %
Kapalná biopaliva	12 476 471	0,71 %	6,75 %
Tepelná čerpadla	4 441 843	0,25 %	2,40 %
Solární termální systémy	787 319	0,05 %	0,43 %
Větrné elektrárny	1 789 046	0,10 %	0,97 %
Fotovoltaické elektrárny	7 673 236	0,44 %	4,15 %
Celkem	184 774 723	10,59 %	100,00 %

Zdroj: MPO ČR (2016)

2.1.2 Biomasa

V první řadě je dobré si říct, co to vlastně biomasa je a z čeho pochází. Biomasa je definována jako substance biologického původu, vznikající pěstováním rostlin v půdě nebo ve vodě, chovem živočichů, produkcí organického původu nebo organické odpady. Je tedy buď záměrně získávána z výrobní činnosti nebo se jedná o již zmíněný odpad ze zemědělských nebo jiných činností. Propočty různých odborníků se pohybují okolo 100 miliard tun biomasy, jako celosvětové roční produkce (PASTOREK, 2004). Už naši předkové využívali energii biomasy jejím spalováním. Topilo se především dřevem, ale používán byl například i sušený trus nebo rašelina. Počátkem 20. století se v Evropě vznikala první zařízení na výrobu bioplynu, pokud hovoříme o plynu, vzniklého pyrolýzním zplyňováním paliva.

v Čechách počet pyrolýzních kotlů roste od roku 1980. (SRDEČNÝ, 2000). V období průmyslového rozvoje v posledních dvou stoletích došlo k intenzivnímu využívání fosilních paliv, což má za následek zvyšování koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře. Pro představu si můžeme tento problém znázornit na konkrétních číslech. Například spálením 1 kg černého uhlí vzniká 2,56 kg CO₂, spálením motorové nafty vzniká 3,12 kg CO₂ nebo spálením 1 m³ zemního plynu má za následek uvolnění 2,75 kg CO₂ do atmosféry. (OCHODEK T., 2006). Biomasu lze dále dělit na další druhy – dendromasu (dřevní biomasa), fytomasu (biomasa z bylin, vč. zemědělských plodin), zoobiomasu (biomasy živočišného původu) a v neposlední řadě biologicky rozložitelné odpady. Dle výčtu těchto druhů je zřejmé, že se jedná o obnovitelný zdroj s obrovským energetickým potenciálem v jakémkoliv ze svých podob, neboť základním stavebním kmenem všech zmiňovaných druhů je uhlík a uhlíková vazba obsahující energii. Na rozdíl od biomasy, fytomasou nazýváme veškerou organickou hmotu rostlinného původu, kterou získáme fotosyntetickou konverzí sluneční energie (FUKSA, 2009). K energetickým účelům je využita buď záměrně, jako výsledek výrobní činnosti. Nebo jako odpad z potravinářské, zemědělské či průmyslové výroby. Dendromasa neboli dřevní biomasa, má pestré uplatnění. Podle účelu využití dělíme dendromasu na několik poddruhů. Jedním z těchto druhů, a zároveň zřejmě nejrozšířenějším jsou dřevěné brikety. Vyrábí se z pilin, hoblin, ve výjimečnějších případech ale také z dřevní kůry, a to za pomoci vysokotlakého lisování bez jakéhokoliv přidání chemických pojiv. Výhodou těchto briket je, že jejich popel při spalování není nikterak nebezpečný a lze ho dále využívat jako výborný kompostový materiál. Nejedná se však pouze o brikety, pokud hovoříme o dendromase. Dalším produktem dendromasy mohou být piliny. Jedná se o sypký materiál obsahující jemné částice dřevní hmoty s různou vlhkostí. Piliny jsou vedlejším produktem, který vzniká při mechanickém dělení dřeva pomocí řezných pilových nástrojů. Neméně známým produktem dendromasy je štěpka, vznikající jako odpad při zpracování dřeva nebo cíleně při drcení dřevních částí. Tato tuhá biomasa se k výrobě tepla nebo kompostu (STUPAVSKÝ, 2012). Mezi biologicky rozložitelné odpady (BRO) patří především odpady pocházející ze zemědělství, zahradnictví, lesnictví, potravinářství atd. Jedná se o odpady, které podléhají aerobnímu či anaerobnímu rozkladu. Jako u ostatních druhů biomasy, i zde má tento druh hned několik možných využití. Jako hlavní faktor, při konkrétní možnosti využití, je to, o jaký druh opadu se jedná (CZ Biom, 2004). Úspěšně lze zpracovat

především odpad kompostováním či anaerobní digescí. BRO mají bohužel negativní vliv na životní prostředí, protože při hydrologických procesech vytváří skleníkové plyny a kyselé výluhy. Není to ale pouze věc samotných BRO. Jde i o to, jakým způsobem je s těmito odpady nakládáno (ALTMANN, 2010). Všude ve světě jsou do biomasy vkládány vysoké ambice, co se týká energetických účelů. Do budoucna by totiž mohla nahradit velkou část neobnovitelných zdrojů energie. Vysokých hodnot ve využití biomasy dosahují země, jako je Švédsko, Finsko nebo Rakousko. Někdo by se mohl bránit tím, že se i při spalování biomasy uvolňuje CO₂. Přibližně stejné množství takto vzniklého plynu je ale pomocí fotosyntézy spotřebováno při růstu biomasy. Lze tedy o biomase říct, že se jedná o neutrální palivo (CENEK, 2001). Kromě spalování existuje i jiný způsob energetického využití biomasy, a to výroba bioplynu. Tato výroba se týká tzv. mokré biomasy. Především jde o kejdu, hnůj nebo zemědělský odpad. Od 70. let je na českém území snaha o modernější využití bioplynu. Bioplyn se dá však vyrobit i z kalu vzniklé v čistírnách odpadních vod (SRDEČNÝ, 2000).

Z principiálního hlediska lze rozlišit několik způsobů získávání energie z biomasy a přípravy biomasy pro energetické využití:

- Termochemická přeměna biomasy (suché procesy)
 - Spalování
 - Zplyňování
 - pyrolýza
- Biochemická přeměna biomasy (mokrý procesy)
 - Alkoholové kvašení
 - Metanové kvašení
- Fyzikální a chemická přeměna biomasy
 - Mechanicky (štípání, drcení, lisování apod.)
 - Chemicky (esterifikace surových bioolejů)
- Získávání odpadního tepla při zpracování biomasy
 - Např. kompostováním

Podle SOUČKOVÉ, (2005) patří k nejdůležitějším vlastnostem biomasy, z energetického hlediska, právě výhřevnost a spalné teplo. Výhřevnost neboli množství tepla uvolněného dokonalým spálením, přičemž vodní pára ve spalinách

nekondenzuje. Výhřevnost je označována v MJ/kg. Spalné teplo, tedy množství tepla uvolněného dokonalým spálením, přičemž je kondenzační teplo vodní páry využíváno ve spalinách. Stejně jako u výhřevnosti, i zde se tato hodnota udává v MJ/kg. Zdrojem biomasy pro energetické účely je v České republice především dřevní odpad z dřevozpracujícího průmyslu a lesní těžby. Dále lze v energetice využívat i obilnou nebo řepkovou slámu a jiné stébelniny.

2.2 Bioplynové stanice

Bioplynové stanice jsou ekologická zařízení, která zpracovávají materiál organického původu v reaktorech pomocí řízeného procesu zvaném fermentace. Jedná se tedy o proces, při kterém mikroorganismy rozkládají organický materiál bez přístupu vzduchu. Celý tento způsob využití biomasy je tak ekologický. Z hlediska anaerobní fermentace, potřebné při energetickém využívání biomasy, se dále používají termíny, jako je například anaerobní digesce, metanové kvašení, metanová fermentace a další. Vstupní surovinou BPS může být takový druh biomasy, který splňuje základní parametry materiálu, vhodného k efektivní fermentaci. (MUŽÍK, 2009)

Těmito parametry jsou především:

- podíl organických látek v substrátu min 50%
- obsah sušiny mezi 5–35%
- poměr uhlíku a dusíku 20–40:1
- hodnota pH v rozmezí od 6,5 do 7,5

Kategorizace bioplynových stanic je různorodá a záleží na mnoha kritériích. Jedním z nich je například dávkování substrátu. Dále se dělí podle druhu vstupních surovin, či podle technologie, která se přizpůsobuje množství sušiny v surovém materiálu. Ve výsledku je však princip BPS víceméně stejný (MUŽÍK, 2009). Vše začíná u příjmové jímky na substrát spolu s dávkovačem na tuhou vstupní surovinu. Celá směs pak putuje dále do fermentoru, kde dojde k zahřátí substrátu a následně k anaerobní digesci. Plyn, který se vytvoří, je odchyťován v plynojemu, kde postupně probíhá jeho čištění v kogenerační jednotce. Vyprodukovaný vyhnílý materiál, tedy už zmiňovaný digestát je z fermentoru načerpán do koncového skladu – dofermentoru. Součástí každého, nebo minimálně většiny, areálu BPS je i technické

zázemí, sklad pro uchování substrátu, případně digestátu (fugátu), jakožto vedlejších produktů tohoto procesu. (BPS PROJEKT, 2014). Kromě vedlejších zemědělských produktů zpracovávají BPS i průmyslové komunální bioodpady. BPS mohou být zemědělské, kde je provozovatelem nejčastěji větší zemědělský podnik, nebo stanice komunální a průmyslové, související s čistírnami odpadních vod (ČOV). Provozovatelem ČOV pak bývá většinou město nebo průmyslový podnik. Mezi BPS se dále řadí i skládkový plyn, který je za řízeného chodu produkován ze skládek odpadů (BAČÍK, 2008). V České republice se momentálně nachází přesně 567 bioplynových stanic. Většina z nich zpracovává suroviny ze zemědělské prvovýroby (CZBA, 2013). Pokud jsou v tomto systému využívání biomasy rezervy, jde o komunální stanice. Svou tradici nachází BPS zejména sousední Německo, a to s více než 4 tisíci bioplynových stanic. Pokud jde o Německo, největší zastoupení mají komunální typy stanic a svědčí tak o velmi dobrém zacházení s komunálním odpadem. S bioplynem ale velmi dobře zachází i na severu Evropy. Ve velké míře je bioplyn využíván ve Švédsku a Dánsku. Konkrétně ve Švédsku je využíván i v automobilové dopravě a co je světovým unikátem, tak je první vlak poháněný upraveným bioplynem – biometanem (BAČÍK, 2008).

2.2.1 Zemědělské BPS

Nejpočetnější zastoupení BPS u nás v České republice mají právě zemědělské stanice. Vstupy tvoří statková hnojiva, jako je kejda nebo hnůj a dále energetické plodiny. Největší zastoupení, pokud jde o energetické plodiny zaujímá kukuřice. Výstavba probíhá nejčastěji přímo v areálech zemědělských podniků. Jednou z výhod tohoto druhu stanic je i to, že se jedná o koncepčně jednodušší zařízení a uvedení do provozu je tak mnohem snazší, než tomu bývá u ostatních druhů. Co je ovšem naopak komplikací u zemědělských BPS je míchání ve fermentoru, kde může docházet k vytvoření nežádoucí vrstvy, která poté prostorově brání funkci fermentoru. Dochází k ucpání potrubí a narušování procesu vyhnívání (BAČÍK, 2008).

2.2.2 Průmyslové BPS

Průmyslové BPS ve fermentoru zpracovávají výlučně nebo alespoň zčásti rizikové vstupy, kterými se myslí jateční odpady nebo kaly z různých provozoven (např. ČOV). v těchto stanicích je tedy kladen velký důraz na technologii a na

splnění všech provozních podmínek, a to hlavně dodržení hygienických opatření, které minimalizují riziko vyplývající ze vstupů.

2.2.3 Komunální BPS

Vstupním materiálem komunálních bioplynových stanic je, jak už název naznačuje, komunální odpad. Ten většinou zahrnuje odpad pocházející například z údržby zeleně, tříděného bioodpadu z domácností a stravovacích provozů (restaurace, jídelny atd.) (DVOŘÁČEK a kol. 2009). Tento druh stanic je ale technologicky náročnější a řeší především problematiku zapáchajících odpadů. Jednoznačný termín, který jasně definuje, co komunální bioplynová stanice je, neexistuje. Není definována jak obecně, tak ani legislativně. Jediné, co blíže specifikuje tyto stanice je vyhláška 482/2005 Sb., ve znění 453/2008 Sb. Podle této vyhlášky rozděluje komunální BPS podle vstupního materiálu, do kategorií AF1 a AF2.

Jednotlivé kategorie a zpracováváný materiál:

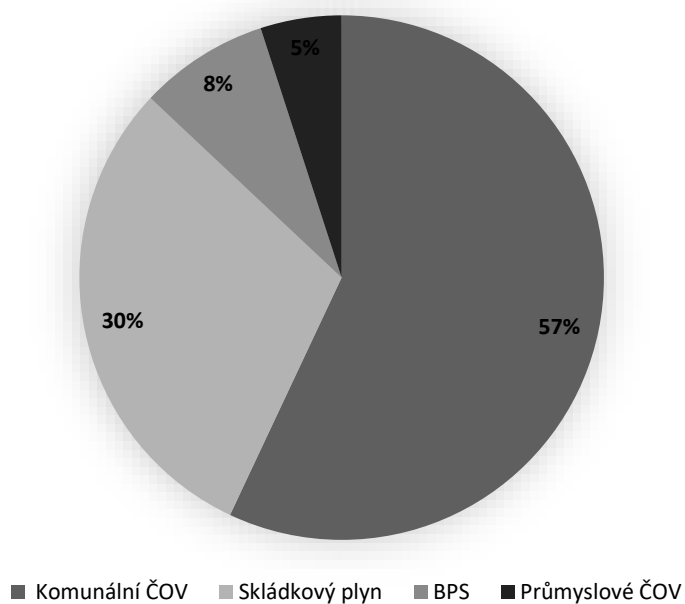
- AF1 – BPS zpracovávající převážně určenou biomasu
- AF2 – BPS zpracovávající bioodpady + zemědělské BPS

2.2.4 Bioplyn

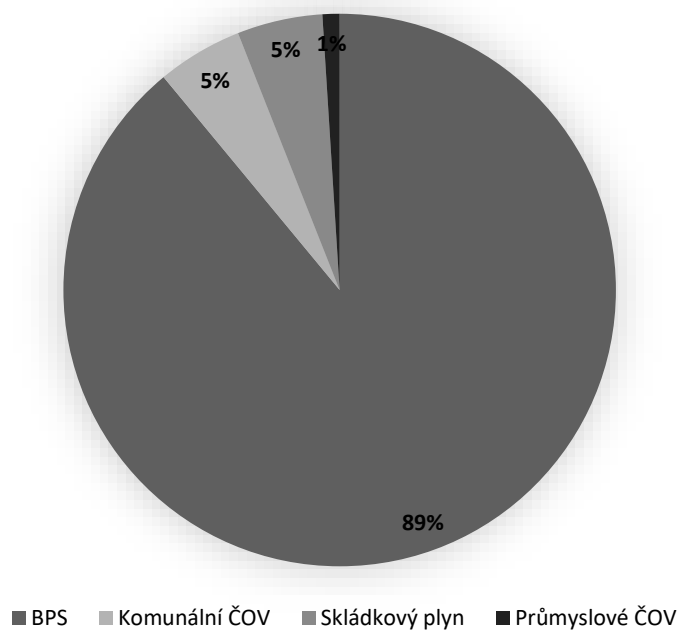
Bioplyn a systémy s ním spojené představují v dnešní době energetické zdroje s vysoce pozitivními přínosy pro ochranu životního prostředí. Přestože bioplyn zatím není schopen zcela nahradit fosilní paliva, na rozdíl od nich má neomezené perspektivy do budoucna. Termín „bioplyn“ se za posledních 20 let ve velkém měřítku dostal do povědomí i laické veřejnosti. Veřejnost tento termín vnímá jako něco ekologicky příznivého, co se velkou měrou podílí na zlepšení životního prostředí. Pozitivní vliv na tom má i rozsáhlá vlna mediální podpory nejrůznějších typů, třeba i na odborné úrovni. Laik sice může bioplyn vnímat, jako jakousi páchnoucí látku (KRATOCHVÍLOVÁ A KOL, 2009). Zároveň si ale v dnešní době čím dál více uvědomuje, jaký pozitivní přínos bioplyn aktuálně má nebo by v budoucnu mohl mít. Jak už název napomíná, bioplyn je tedy plyn vznikající v biologickém procesu. Jedná se o směs plynů, vytvořených za nepřístupu kyslíku. S procesem vzniku bioplynu se můžeme setkat například i na dně jezer, v jímce s kejdou nebo v bachoru přežvýkavců. Základ tohoto plynu tvoří z cca dvou třetin

metan a jedné třetiny oxid uhličitý. Nepatrné množství pak tvoří stopové prvky vodík, sulfan, amoniak a další (KALETOVÁ, 2011). Jak už zde bylo zmíněno, největší zastoupení v tomto plynu má metan a je zároveň jeho nejcennější složkou, neboť určuje energetický obsah bioplynu. Jeho obsah v plynné směsi je ovlivněn různými faktory, a to jak na straně zpracování substrátu, tak i během samotného procesu zpracování. Metan tedy určuje výhřevnost bioplynu a pohybuje se v rozmezí 13,72 – 27,4 kJ/m³. Specifický zápach neurčuje metan, ani oxid uhličitý, ale ostatní plyny, obsaženy v celé směsi. U organických substrátů, které se podrobují metanogenní fermentaci se metan získá rozkladem polysacharidů, lipidů a proteínů. Při tomto rozkladu proteinů se dále do bioplynu uvolňují sirnaté složky, kterými jsou např. sulfan. Tyto složky je však nutné v některých případech odstranit. Rozkladem lipidů je pak možné dosáhnout co možná nejlepší výtěžnosti. Jejich podíl ve fermentovaném materiálu ale není nikterak vysoký. Polysacharidy a jejich rozklad, zejména ty, které jsou obsaženy ve fytohmotě, bývají hlavním zdrojem látek pro tvorbu metanu (KÁRA, 2007). Pokud jde o Českou republiku, je bioplyn už třetím největším dodavatelem elektrické energie a zároveň druhým největším dodavatelem tepla z OZE. Postupem času jeho podíl na celkové dodávce energií roste. Například v roce 2009 bylo k energetickým o nárůst o 84,6 mil. m³. Největší podíl na tomto nárůstu mají bioplynové stanice (BUFKA a kol., 2010). V následujících grafech je znázorněna spotřeba bioplynu k energetickým účelům. Respektive porovnání využívání bioplynu v roce 2013 a 2016. Z těchto údajů je patrné, jakým způsobem narůstá jeho spotřeba v rámci bioplynových stanic. Zatímco v roce 2013 spotřeba bioplynu mezi BPS činila 57 %, účelům využito 259,6 mil. m³ bioplynu a v porovnání s rokem předchozím se jednalo o 3 roky později se tato hodnota zvedla o 32 %, tedy na celkových 89 %.

Graf 1 - Spotřeba bioplynu k energetickým účelům v roce 2013



Graf 2 - Spotřeba bioplynu k energetickým účelům v roce 2016



Zdroj: CZ Biom, (2004)

2.3 Biopaliva

Biopaliva jsou taková paliva, která jsou vyrobena z biomasy a mají několik možných využití. Uplatnění nachází k vytápění, výrobě elektrické energie nebo pohonu motorových vozidel. Můžeme je rozdělit podle skupenství na pevná, kapalná a plynná (GANDALOVIČ, 2009). Mezi biopaliva pevného skupenství řadíme například dřevo, stébelniny, traviny a zemědělské odpady. Kapalná jsou získávána z olejnatých semen, jako je například řepka a paliva získaná z rostlin, které jsou bohaté na obsah cukru nebo škrobu (obilí, brambory). Kapalná biopaliva jsou navíc v laické společnosti zřejmě nejznámější, a to z toho důvodu, že jejich hlavní využití se nachází v dopravě, a proto se velká část obyvatel často setká s pojmy, jako jsou bioetanol nebo bionafta. A poslední typ biopaliv, tedy plyných, mezi které patří především dřevní plyn a skupina skládkových plynů, kam řadíme i bioplyn s vysokým obsahem metanu (DOLEŽAL, 2012). V následující části se v krátkosti zaměřím především na dva druhy biopaliv, a sice bioetanol a bionaftu. Důvodem, proč zde rozepisuji především tyto paliva je ten, jakým způsobem jde automobilový průmysl kupředu a jaké množství automobilů se na silnicích nachází. Je zde také velké množství modelů aut, která nesplňují dnešní emisní normy. Biopaliva a jejich spalování je totiž mnohem šetrnější k životnímu prostředí a nedochází tak ke zvyšování obsahu skleníkových plynů v ovzduší.

2.3.1 Bioetanol

Nejedná se pouze o jednu látku, pokud hovoříme o bioetanolu. Jednotlivými složkami této směsi jsou etanol, alkohol a líh. Etanol je možné vyrobit dvěma způsoby, a to chemickým či mikrobiologicko-kyvasným. Pokud jde o kvasný postup, jedná se především o kvašení sacharidů. Původ těchto sacharidů se nachází v zemědělských plodinách (obilí, řepa, brambory) a při samotném procesu kvašení se účastní kvasinky, bez kterých by tento proces nemohl probíhat. Proces kvašení probíhá ale pouze do koncentrace 14-15 % obj. etanolu, a to z toho důvodu, že při vyšší koncentraci by kvasinky byly zničeny vlastním produktem. Alkohol o vyšší koncentraci se vyrábí destilací zkvašené zápary. Bezvodný líh se pak získá odvodněním lihu z destilace. Termínem bioetanol nazýváme kvasný líh, určený k palivovým účelům. Jeho výhodou je vysoká výhřevnost a je možné ho s dobrou účinností spalovat v plynových turbínách nebo kotlích. Největší využití má

ale v automobilovém průmyslu, a to jako motorové palivo. Spaliny lihu totiž neobsahují popel ani síru a mají tak nižší podíl CO₂ a NO_x (TEREOS TTD, 2018). Jak už zde bylo řečeno, bioetanol má největší zastoupení v automobilovém průmyslu, a to konkrétně v zážehových motorech. Přidává se buď jako samotný nebo je míchán s benzínem, a to v určitých poměrech. Čerpací stanice označují toto palivo jako E85. Číslo, které je v této zkratce uvedeno značí, kolik procent bioetanolu se ve směsi nachází, v tomto případě jde tedy o 85 % bioetanolu a 15 % bezolovnatého benzínu. Na našem území ale není nikterak rozšířený, jako je tomu například v severních zemích. Co je však povinné, je přimíchávání menšího množství do benzínu a to konkrétně 4,5 %. Pokud se majitel vozu rozhodne pro použití tohoto paliva, je nutné motor speciálně upravit (GANDALOVIČ, 2009).

2.3.2 Bionafta

Bionafta je alternativním palivem pro diesellové motory, které mají výrazně pozitivní vliv na pohonné jednotky vozidel, ekonomicky výhodnější a zároveň mnohem šetrnější k životnímu prostředí. Vyrábí se mísením standardní motorové nafty s metylesterem řepkového oleje (MEŘO) s minimálním obsahem 30 % MĚŘO (LAURIN, 2008). Metylester řepkového oleje je v České republice vlastnostmi nejbližší motorové naftě, a proto je jeho použití na našem území nejvíce zastoupené. Hlavní složkou, jak už z názvu napovídá, je řepkový olej. Na výrobu lze ale použít také živočišné tuky či směsi tuků živočišných a rostlinných. Bionafta je navíc mísitelná se standardní motorovou naftou a není tedy příliš nutné dávat pozor na to, pokud by se v nádrži standardní motorová nafta už nacházela. Pokud se jako pohonná hmota použije čistá bionafta je, stejně jako u bioetanolu, nutná úprava motoru (GORIVO, 2018). Při spalování bionafty v motoru tato hmota lépe hoří a snižuje tak kouřivost naftového motoru, emise polétavého prachu, síry, CO₂ a aromatických látek. Další jeho výhodou je vysoká mazací schopnost, čímž snižuje opotřebení motoru. Nevýhodou je však proces výroby bionafty a její energetická náročnost. Při spalování sice nedochází k velkému úniku skleníkových plynů, při výrobě ale bohužel k úniku dochází. Další nevýhodou je kratší doba skladování, poměrně brzy stárne a v automobilu by neměla zůstat delší dobu, než je jeden měsíc (VITEJTENAZEMI.CZ, 2013)

2.4 Využití biomasy v bioplynových stanicích

Zemědělství patří mezi nejzásadnější produkční oblasti bioenergetiky. Půdní potenciál pro Českou republiku představuje velmi důležitou hospodářsko-zdrojovou základu. Možná produkce může dosahovat až 75 % energetické biomasy. Většina biomasy ze zemědělství pochází především z orné půdy (40 %). Vedlejší produkty pak tvoří zhruba 44 %. Přínos v energetice mají ale i trvale travní porosty (dále jen TTP) a to ve výši 16 %. Pokud jde o TTP, je v tomto čísle zohledněna i plocha, která není využita pro potravinovou produkci, ani pro výrobu biomasy k energetickým účelům, což jsou například CHKO, NP apod. (MZe, 2013). Biomasu ze zemědělské produkce a využitelnou pro energetické účely tvoří především zbytková biomasa, jako je sláma, plevy, výpalky, šroty, exkrementy a další. Dalším druhem biomasy, která svá využití nachází v energetice je cíleně pěstovaná biomasa. U nás v tomto odvětví na zemědělské půdě najdeme především kukuřici, řepku aj. Neméně důležitou skupinou tvoří ale také trvale travní porosty, které mají také své místo v energetice. Poslední tuto skupinu tvoří rychle rostoucí byliny a dřeviny (JAKUBES a kol., 2006).

2.5 Energetické rostliny

Jak lze charakterizovat energetické rostliny? Charakterizovat je můžeme, jako méně náročné rostliny, které rozšiřují, doplňují nebo dokonce nahrazují stávající sortiment plodin. To však v žádném případě neznamená, že jsou zcela bezúdržbové. Jako každá jiná rostlina, záměrně pěstována, potřebuje jistou péči. Ať už potřebnou ochranu před škůdci nebo například dodání živin do půdy. To vše se následně promítne, negativně či pozitivně, na sklizni (PETŘÍKOVÁ, 2002). Vývojové trendy u nás i v evropských zemích ukazují, že převyšuje rostlinná výroba pro nutriční využití. Některé země však přicházejí s pěstováním alternativních rostlin pro nepotravinové využívání (KÁRA, 2005). Pokud se podíváme na vyhlídky do budoucna, je pěstování právě alternativních druhů jedna z možných cest, jak oddálit možný nedostatek fosilních surovin. Nabízí se zde tedy možnost využití biomasy, jako jednoho z nejvýznamnějších obnovitelných zdrojů energie. Jedná se o látky biologického původu, vznikající buď záměrně výrobní činností nebo jako odpad například ze zemědělské výroby (MOUDRÝ, 2011). V České republice se v dnešní době nachází velké množství půd, ležících ladem. Z hlediska udržitelného rozvoje je

však nezbytné s touto půdou hospodařit a jednou s možností je právě pěstování energetických rostlin (PETŘÍKOVÁ, 2006). Pěstování energetických rostlin u nás bohužel zatím nemá nijak velkou tradici. Míst, kde se energetické rostliny pěstují, nalezneme málo. I když už v minulosti k pěstování těchto druhů došlo, většina z nich je mezi veřejností stále poněkud neznámou. Důvodem neznalosti jsou hlavně neucelené zkušenosti, které dosud nebyly nijak souborně publikovány. Základní členění energetických rostlin je tedy následující:

- Dřeviny
- Nedřevnaté rostliny (byliny)

Dále lze k energetickým rostlinám, u kterých je prováděn výzkum nebo jsou dnes již ověřeny v provozu a vykazují určitý potenciál, přiřadit i druhy, jako jsou například psineček, kostřavu, srhu laločnatou a další (PETŘÍKOVÁ, 2006). Důležitým faktorem je, pro jaké energetické rostliny se rozhodneme. Zda dát přednost jednoletým nebo vytrvalým druhům a je jasné, že každá plodina má svá specifika. Z mnoha důvodů je pro energetické účely vhodnější pěstování vytrvalých plodin, a to z důvodu rozdílných teplotních poměrů v půdě během roku. Z hlediska ekologických důvodů mají víceleté energetické plodiny příznivější vliv na strukturu půdy, zvýšení vododržnosti půdy, omezení neproduktivního výparu vody z půdy, redukce vodní a větrné eroze a mnoho dalších (HŮLA, 2002).

2.5.1 Rychle rostoucí dřeviny

Rychle rostoucí dřeviny (dále jen RRD) jsou pěstovány na tzv. výmladkových plantážích. Jde o relativně nový způsob pěstování RRD, a to zejména topolů a vrb. Jde o využívání schopnosti vybraných dřevin obrůstat z ponechaných pařezů. Samotná technologie těchto plantáží byla známa už v minulosti, kdy byly pěstovány například duby pro získání dubové kůry na výrobu tříslovin pro činění kůží. První sklizeň energetické plantáže je plánována zhruba po 5 až 7 letech a následně je pak sklizen v intervalu 3–5 let. Životnost těchto plantáží může dosáhnout klidně 30 let. Pokud se pak plantáž nachází v ideálních podmínkách, možnost pěstování dřevin se může prodloužit až na 50 let, tedy nejvýše 15 sklizní (WEGER, 2009). Výnosy, pokud jde o optimální podmínky na stanovištích, se v ČR pohybují v rozmezí od 12 do 15 t/ha sušiny. Čím je ale plantáž starší, tím výnosy klesají. Proto je ekonomicky

výhodnější tyto plantáže obnovit. Možnost, jak tyto výnosy alespoň trochu zvýšit může být zvýšení intervalů mezi sklizněmi. (HONGWEI, 2005)

2.5.2 Jednoleté energetické rostliny

Mezi jednoleté rostliny, využitelné v energetice se nejvíce využívá sláma obilnin, popřípadě celá její část. Patří sem například sláma pšenice, ječmene, žita nebo i triticales. Jelikož je zde žádoucí materiál sušší, nehodí se čirok cukrový, který si i při sklizni po zimě udržuje vlhkost v rozmezí 30–40 %. Výhoda jednoletých rostlin je hlavně ta, že jsou určeny pro rychlou produkci. Sklizeň je, na rozdíl od víceletých rostlin, prováděna pomocí běžné techniky. Poměr vložené a získané energie je obvykle 1:2. (WEGER, 2012).

Tabulka 2 - Jednoleté energetické byliny

<i>Druh rostlin</i>	<i>Výsev kg/ha</i>	<i>Hloubka setí v cm</i>	<i>Termín setí</i>	<i>Výnos suché hmoty v t/ha</i>	<i>Termín sklizeň</i>
Tritikale	130-180	5-7	25.9. - 10.10.	10-12	VII, VIII
Ozimé žito	130-140	5-7	25.9. - 5.10.	9-12	VII, VIII
Sudanská tráva	30	4-5	zač. V	14-18	(IX), X, (XI)
Konopí seté	32-65	3	IV-V	8,5 -16	IX, X
Amaranthus	1,2 - 1,7	1,5	V-VI.	8-10	(IX), X, (XI)
Sléz krmný	5-8 (10)	2	IV-V	8-12	(VIII), IX, (X)
Hořčice sareptská	5-6	2	IV	6-8	VIII, (IX)
Krambe (kartán)	20-30	2-3	od 1/2 IV	4,5 - 5	VII, VIII
Světlice barvířská	15-30	2-4	III do 1/2 IV	4-5	IX
Lnička setá	8-12	1-2	III, IV	2,5 - 3,5	(VI), VII

Zdroj: Petříková (2002)

2.5.3 Víceleté energetické rostliny

Z ekonomického hlediska u víceletých rostlin je nejnáročnější založení porostu. Maximální využití připadá v úvahu v druhém, popřípadě třetím roku. U těchto rostlin se předpokládá vyššího výnosu, než je tomu u jednoletých. Celková rentabilita je zde lepší. Obecně platí, že jak ekonomicky, tak energeticky je pěstování

víceletých rostlin výhodnější. Poměr energie vložené k získané činí až 1:10 (WEGER, 2012).

Tabulka 3 - Víceleté energetické byliny

<i>Druh rostlin</i>	<i>Výsev kg/ha</i>	<i>Hloubka setí v cm</i>	<i>Termín setí</i>	<i>Výnos suché hmoty v t/ha</i>	<i>Termín sklizně</i>
Pupalka dvouletá	4-5	na povrch utužené půdy	od jara do 1/2 VIII	4-5	(VIII), IX
Komonice bílá	1825	2-3	IV-V	12-5	(VIII), IX
Jestřabina východní	15-25	3	IV	cca 10	VII, (VIII)
Topinambur hlíznatý	50-55 tis. hlíz, spon 62,5 až 75 x 24 až 40 cm	6-12	V	8-10	IX (X, XI)
Šťovík krmný	5-8	1,5	V-VII	15-25	VII, (VIII)
Mužák prorostlý	12-15	3	IV	12-15	(VIII), IX, (X)
Bělotrn kulatohlavý	18-22	3	IV-V	14-16	IX, (X)
Boryt barvířský	10-12	3	IV	cca 10	VIII, (X)
Topolovka růžová	5-6	2	IV-V	13-16	IX, (X)
Ozdobnice čínská- <i>Miscanthus</i>	10-20 tis. sazenic	6-8	1/2 v-1/2 VII	15-25	Jaro-III, IV

Zdroj: Petříková, (2002)

2.5.4 Technologie, zpracování a využití energetických plodin

Způsob, jakým se pěstují energetické plodiny, zejména stébelnaté, jsou v podstatě stejné s technologiemi pěstování těch běžných. Výjimku tvoří pouze konopí, u kterého je zapotřebí použití částečně upravených nebo speciálních strojů. Pro pěstování všech ostatních druhů plodin pro energetické účely se používají stroje, které můžeme běžně vidět na zemědělských půdách. Není to však otázka pouze mechanizace. Patří sem například i hnojení, ochrana, předset'ová příprava pozemku a další. To, v čem se však tyto druhy rozcházejí, je jejich doba sklizně. U běžných, užitkových rostlin, určených k výživě lidí nebo zvířat, dochází ke sklizni v době, kdy rostlina dosáhne největšího zisku živin. U energetických rostlin se sklizeň provádí při největším obsahu energie, tzn. většinou u stébelnin pro spalování až v přestárlém

stavu s nízkým obsahem vody a dusíkatých látek. Jinak je tomu ovšem u rostlin určených pro zpracování v bioplynových stanicích (BPS) v zeleném stavu, sklizeň je zde prováděna dříve, podobně jako u rostlin užitkových (PETŘÍKOVÁ, 2006).

2.6 Mužák prorostlý (*Silphium perfoliatum* L.)

Mužák prorostlý je víceletá bylina z čeledi hvězdnicovitých. Jeho původní výskyt se nachází v severní Americe v oblasti vodních toků. v Evropě se tato rostlina objevuje pouze jako zavlečená rostlina. Jejím příbuzným druhem je slunečnice rolní (*Helianthus annuus* L.), jako jedna z nejvýznamnějších zemědělských rostlin vůbec. Na rozdíl od slunečnice je však mužák rostlinou vytrvalou a lze ji na jednom stanovišti pěstovat až 25 let. Další, pro nás velmi důležitou vlastností je i to, že je vhodná pro pěstování v mírném klimatickém pásmu. Pokud bychom se podívali do historie, v bývalém Sovětském svazu byla zkoumána již ve 30. letech minulého století, jako možná alternativní krmná rostlina. Po několika letech se dostala i do mnoha evropských zemí, zejména do Německa nebo Polska. U nás, v České republice se ale bohužel pěstování dostalo pouze do pokusných fází, na rozdíl od Německa, kde se v současné době pěstuje s velmi perspektivními ambicemi pro následnou výrobu bioplynu. Po celém Německu bylo založeno zhruba 170 pokusných oblastí. Svá krmná uplatnění najde ale i ve státech bývalého Sovětského svazu. Rozsáhlý potenciál díky současným poznatkům má tato speciální rostlina především v krmivářství. Dalším možným využitím by si mužák prorostlý mohl najít jako technická, medonosná a půdo-ochranná plodina. Její vlastnosti z hlediska zisku medu nejsou zanedbatelné. Díky dlouhé fázi kvetení lze získat až 150 kg medu z jednoho hektaru (USŤAK, 2012). V našich podmínkách, tedy v podmínkách mírného klimatického pásmu, dosahuje výšky 220–340 cm. Stonky jsou přímé, silné, duté, ochmýřené, většinou čtyřhranné, ale mohou se vyskytovat i rostliny, které mají stonek až osmihranný. Produktivních stonků se objevuje zhruba 6-12 kusů. Listy jsou tmavě zelené, sršavé, ozubené, velké, vejčité-kopinaté a okraje listové destičky ozubené. Délka listů dosahuje až 30 cm a šířka se pohybuje v rozmezí 13 až 15 cm. Horní listy jsou bez řapíku, přímo nasedlé na stonku, který prorůstá skrz listy. Odtud pak pochází název rostliny, tedy mužák prorostlý (USŤAK, 2012). Přírozený výskyt mužáku je v nízkých lesích, loukách, prériích, podél potoků a železničních tratí. Pokud jde o půdu, daří se mu na půdách hlubokých a bohatě zásobených na živiny. Další podmínky na půdu je jejich vlhkost, vyžaduje totiž půdy vlhčí až vlhké.

Dokáže však tolerovat i přísušky. Nižší výnosnost se odráží, pokud se rostlina pěstuje na půdách mělkých, chudých nebo vysušených (WEGER J., 2012).

2.6.1 Příprava a požadavky půdy

Správným výběrem v rámci osevního postupu je vhodné zařadit mužák na nezaplevelený pozemek. Vhodnou předplodinou jsou většinou organicky hnojené plodiny. Příprava půdy před setím spočívá hlavně v podzimní hluboké orbě. Na jaře jde pak hlavně o operace, které nám zajistí rovný, nezaplevelený povrch s drobtovitou strukturou, čehož dosáhneme vláčením, smykáním (popřípadě válením), aplikací hnojiv a použití preemergentních druhů herbicidů (WEGER J., 2012). Obecně platí, že mužák prorostlý nevyžaduje nijak speciální typ stanoviště. To však neznamená, že ho lze pěstovat na jakýchkoliv půdách. Například pokud jde o písčité půdy s nedostatečným přísunem vody, je obvykle výnosový potenciál značně nižší. Výhodou tedy je, pěstovat rostlinu na vodou zásobených půdách. Jak už zde bylo zmíněno, zvláštní pozornost je třeba dávat u předset'ové přípravy, a to zamezení rozšiřování plevelů. I vzhledem k tomu, že se jedná o vytrvalou rostlinu (HARTMANN, 2017). Před založením samotného porostu je také nutné provést vápnění. Na půdách s pH menším, než je 5,5, by měl být použit dolomitický vápenec, pokud jde o půdy lehčí. Přiměřené množství činí zhruba 2 - 2,5 t/ha. Na půdy těžší lze použít vápno pálené, a to v množství cca 1,5 – 2 t/ha. Přesné množství vápna použijeme na základě agrochemických rozborů. Pokud dojde k poklesu pH, je nutné vápnění provést opětovně (cca 4–6 let po založení) (UŠŤAK, 2012).

2.6.2 Založení porostu

HARTMANN (2017) uvádí, že mírné předchlazení semen má pozitivní vliv na klíčivost. Výsev probíhá přibližně s 15-18 klíčivými semeny/m². v České republice je také možnost koupě semen po několika kusech. Cena jednoho semena se na českém trhu pohybuje zhruba kolem 4,- Kč za semeno. Uváděná cena za semeno v sousedním Německu podle autora se pohybuje v rozmezí 3-5 Kč. Samotné setí mužáku se realizuje v dubnu, v rozponech zhruba 50-75 cm širokých při dodržení hloubky setí 3 cm. Výsevek tedy obvykle činí 12-15 kg/ha. Starší rostliny mohou vytvářet tzv. shluky, díky kterým se dá později velmi dobře rostlina množit s ujímavostí, dosahující až 95 %. Zajištěním dostatečného přísunu vody mladým rostlinám se této hodnoty ujímavosti lze bezproblémově dostat (WEGER J., 2012).

Výsev je prováděn do hloubky zhruba 0,5-1 cm na půdách těžkých. Na středně těžkých půdách činí výsev 1-2 cm a na lehkých pak 2-3 cm. Po fázi setí je potřeba provést další válení (hladkými válci). Dalším krokem je vláčení a následné plečkování, díky kterému je mechanicky odstraněn plevel a zároveň tak probíhá kypření půdy. Existuje ale několik důvodů, proč nedochází ke správnému vzcházení, a to například špatně zvoleným osivem, špatně připraveným půdním povrchem, nedostatkem vláhy v prvních 2-3 týdnech po vzejití, nesprávnou hloubkou setí a mnoho dalších (UŠŤAK, 2012).

2.6.3 Ošetřování porostu

V prvním roce života jsou porosty mužáku jako i většiny ostatních vytrvalých vysokoprodukčních rostlin velice náročné na pravidelné odplevelení. Účinné odplevelení v prvním roce vegetace je základem úspěšného založení vytrvalého porostu (UŠŤAK, 2012). Dle (CHRESTENSEN, 2012) je možné už 5-7 dnů po výsadbě využít chemickou cestu na odplevelení pomocí herbicidů. Od druhého roku se požadavky na péči porostu snižují. Snižování požadavků na péči se snižují i z důvodu hustoty porostu, díky které jsou plevelné druhy potlačeny (WEGER, 2012). Při horší kvalitě půdy, na které se mužák nachází je možné provést také jarní hnojení (GANSBERGER et. al., 2014). Mužák velice dobře reaguje na vyšší dávky N. Pokud jsou ale dodány dávky vyšší než 120 kg/ha, může to mít za následek nadměrné poléhání porostu během vegetace. Doporučená dávka N je tedy 100-120 kg/ha N (WEGER, 2012). V následující tabulce (Tabulka 4) je uveden průměrný obsah mikroelementů v nadzemní biomase mužáku v porovnání s kukuřicí. Z této tabulky je vidět, že kromě Cu a Zn má mužák ve srovnání s kukuřicí výrazně vyšší nároky na uvedené mikroelementy.

Tabulka 4- Průměrný obsah mikroelementů v porovnání s kukuřicí setou

Plodina	Průměrný obsah mikroelementů (mg/kg sušiny fytomasy)							
	B	Fe	Mn	Co	Cu	Mo	Ni	Zn
Mužák	31,7	136,1	41,0	0,32	7,22	0,52	0,85	15,8
Kukuřice	3,70	72	25	0,07	11,5	0,36	0,64	22,5

Zdroj: UŠŤAK, (2012)

2.6.4 Sklizeň

Vzhledem k absenci pěstebních ploch v České republice nejsou zatím zkušenosti se strojovou sklizní. Sklizeň probíhá podobně, jako u kukuřice v závislosti na jeho následném využití. Při využití mužáku pro spalování je vhodné sklízet porost při vyšším procentu sušiny. Vzhledem k udržování dužnatosti stonků, až do pozdního podzimu, toto ale může být do určité míry problém. Dalším ztížením sklizně může být i nepravidelné dozrávání (resp. usychání) mužáku. Řešením se tedy nabízí provedení sklizně v zimním nebo jarním termínu následujícího roku. Kvůli ztrátám biomasy se ale tento způsob neosvědčil. Nejvhodnějším řešením, ač ekonomicky poměrně nákladným, se tedy jeví sklizeň na podzim s následným dosoušením (WEGER, 2012).

3 Cíl bakalářské práce

Cílem bakalářské práce je sestavit literární přehled shrnující problematiku pěstování mužáku prorostlého (*Silphium Perfoliatum L.*) zejména pro účely bioplynových stanic. Seznámit se s metodikou pěstování mužáku prorostlého a aktivně se podílet na jeho zakládání a ošetřování v rámci maloparcelkových pokusů. Posoudit možnost nahrazení kukuřice seté pěstované pro účely bioplynových stanic mužákem prorostlým z hlediska produkce fytomasy z jednotky plochy a produkce bioplynu (resp. metanu) z jednotky produkce s následnou diskusí a vyhodnocením získaných výsledků.

Hypotézy:

1. Na základě dostupných literárních dat lze předpokládat, že produkce bioplynu (resp. metanu) z jednotky produkce u mužáku prorostlého bude srovnatelná s produkcí metanu u kukuřice seté.
2. Na základě dat dostupných literárních zdrojů lze předpokládat, že produkce fytomasy z jednotky plochy u mužáku prorostlého nebude v prvním produkčním roce dosahovat plného výnosového potenciálu.

4 Materiál a metodiky

4.1 Lokalita

Praktická část bakalářské práce probíhala převážně na pozemcích Jihočeské Univerzity v Českých Budějovicích. Pro účely této práce byl založen porost mužáku prorostlého na pozemku Zemědělské Fakulty Jihočeské Univerzity v Českých Budějovicích. Předplodinou této rostliny byla kukuřice setá. Charakteristika lokality je zaznamenána v tabulce (Tabulka 5).

Tabulka 5 – Charakteristika lokality

Lokalita	České Budějovice, Jihočeský kraj
Nadmořská výška	380 m.n.m.
Půdní druh	Písčito – hlinitý
Půdní typ	Kambizem pseudoglejová
pH půdy	6,4
Úhrn ročních srážek za rok 2016/17 (mm)	665
Dlouhodobý průměr (1961–1990)	8,2
Roční průměrná teplota (°C)	8,25

Ještě před založením porostu byla na pozemku provedena příprava půdy. Ta spočívala ve středně hluboké orbě. Na základě metodik a několika výzkumů bylo rozhodnuto o rozponu sazenic 60 x 70 cm.

4.2 Péče o porost

Referenční porost mužáku byl založen na konci měsíce září v roce 2016. Založení porostu předcházela mechanická kultivace. Tou byla středně hluboká orba s následným urovnáním povrchu. Na celkové ploše 50 m² byly vysazeny sazenice mužáku prorostlého v rozponu 70x60 cm. Po výsadbě porostu byla provedena mechanická likvidace plevelů. Jednalo se o plevelné druhy, z nichž dominantnější zastoupení měli hlavně pcháč rolní (*Cirsium Arvense L.*), pýr plazivý (*Elytrigia repens L.*), penízek rolní (*Thlaspi Arvense L.*), hluchavka nachová (*Lamium Purpleum L.*) a kokoška pastuší tobolka (*Capsella bursa-pastoris L.*). Vzhledem k faktu, že mužák prorostlý je dvouděložná rostlina, byla likvidace většiny

plevelných druhů chemickou cestou nepřijatelná. V prvním roce po založení jsou porosty mužáku, jako i většiny ostatních vytrvalých vysokoprodukčních rostlin, velice náročné na pravidelné odplevelení. Účinné odplevelení v prvním roce vegetace je základem úspěšného založení vytrvalého porostu. V následujících tabulkách (Tabulka 6, 7) je znázorněna průměrná teplota v měsících, ve kterých probíhalo sledování porostu. Jedná se tedy o časový úsek od září roku 2016, až do září roku 2017.

Tabulka 6: Průměrné měsíční teploty v roce 2016 podle ČHMÚ

Měsíc	9.	10.	11.	12.	Průměr
Teplota (°C)	14,9	6,9	2,0	-0,9	5,7

Tabulka 7: Průměrné měsíční teploty v roce 2017 podle ČHMÚ

Měsíc	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	Průměr
Teplota (°C)	-6,0	1,0	5,5	6,3	13,3	18,1	18,2	18,2	11,1	9,3

Na základě metodiky pro praxi (Tabulka 8, 9) podle USŤAK, (2012), pro pěstování *silphium perfoliatum L.*, bylo přepočítáno množství hnojiv na výměru 50 m² a dne 3.5.2017 bylo provedeno hnojení. Jednalo se o minerální hnojiva LAD, superfosfát a draselnou sůl. Na celých 50 m² připadlo toto množství konkrétních druhů hnojiv:

- LAD – 2,75 kg
- Superfosfát – 1,25 kg
- Draselná sůl – 1,25 kg

Tabulka 8 – Metodika hnojení mužáku prorostlého v roce založení

Rostlina	Stupeň intenzity hnojení	Dusík (N)		Fosfor (P)		Draslík (K)	
		Čistý (kg/ha)	Hnojivo a množství	Čistý (kg/ha)	Hnojivo a množství	Čistý (kg/ha)	Hnojivo a množství
<i>Silphium perfoliatum</i> L.	Intenzivní - Minerální	150	LAD 550 kg/ha	52,8 (120 P ₂ O ₅)	Superfosfát trojitý 250 kg/ha (45%)	124,5 (150 K ₂ O)	Draselná sůl 250 kg/ha (60%)
	Digestát*	150	LAD 550 kg/ha	52,8 (120 P ₂ O ₅)	Superfosfát trojitý 250 kg/ha (45%)	124,5 (150 K ₂ O)	Draselná sůl 250 kg/ha (60%)

* Při zakládání porostů se i v případě varianty hnojení digestátem využívá hnojivo minerální. Samotný digestát je pak aplikován až v roce produkčním.

Zdroj: UŠŤAK, (2012)

Tabulka 9 - Metodika hnojení mužáku prorostlého v produkčních letech

Rostlina	Stupeň intenzity hnojení	Dusík (N)		Fosfor (P)		Draslík (K)	
		Čistý (kg/ha)	Hnojivo a množství	Čistý (kg/ha)	Hnojivo a množství	Čistý (kg/ha)	Hnojivo a množství
<i>Silphium perfoliatum</i> L.	Intenzivní - Minerální	70	LAD 260 kg/ha	22 (50 P ₂ O ₅)	Superfosfát trojitý 110 kg/ha (45%)	41,5 (50 K ₂ O)	Draselná sůl 85 kg/ha (60%)
	Digestát	70	Digestát 19,6 t/ha	17,8	Digestát 19,6 t/ha	117,4	Digestát 19,6 t/ha

Zdroj: UŠŤAK, (2012)

Dalším opatřením, a zároveň ochranou proti vzejití nových plevelných rostlin, bylo využití travního mulče. Pro ukázkou tohoto způsobu zastavení růstu plevelných druhů je přiložena i fotografie (Obrázek 3). Dne 12. 9. 2017 proběhla sklizeň

porostu. Výška strniště byla zvolena na zhruba 10 cm. Byla stanovena celková výtěžnost čerstvě sklizené fytomasy z jednotky plochy (ha). Následně byl hodnocen průměrný obsah sušiny ve hmotě. Pro účely hodnocení výtěžnosti bioplynu (resp. metanu) byly odebrány vzorky čerstvé hmoty (silážní vzorky) a vzorky sušiny.

4.3 Stanovení skutečné výtěžnosti metanu ze vzorku

Pro účely této práce byla stanovena skutečná výtěžnost bioplynu ze vzorku s následným stanovením % obsahu CH₄ a následným přepočtem na tzv. normolitry (NL CH₄). Prvním krokem bylo odstranění vlhkosti z homogenizovaných vzorků fytomasy. Pro tyto účely bylo využito horkovzdušné sušárny. Takto připravené vzorky byly rozděleny dle přesných navážek a následně zakonzervovány. Stanovení skutečné výtěžnosti bioplynu bylo provedeno prostřednictvím simulačního procesu anaerobní digesce (Obrázek 5, 6). Vzorky sušiny fytomasy v přesných navážkách byly inokulovány digestátem z bioplynové stanice. Materiál byl následně uzavřen do tlakových nádob tak, aby bylo zamezeno přístupu vzduchu. Poměr využitých materiálů odpovídal vztahu 4 g sušiny a 700 ml digestátu. Takto založené vzorky byly po dobu 30 dnů udržovány v termostatu při teplotě 40 °C a vznikající plyn byl zachycován do plynových vaků. Stanovený poměr vloženého materiálu odpovídá objemu vytvořeného bioplynu, který nepřevyšuje objem plynových vaků pro jeho jímání. Po ukončení pokusu byl kvantifikován objem vytvořeného bioplynu z jednotlivých vzorků a následně chromatograficky stanoven % obsah CH₄. Pro stanovení koncentrace CH₄ ve vzorku bioplynu byl využit *Advanced Gasmitter, Elektronik, Universitat Bayreuth, ELUB3/134*.

Pro výpočet jednotlivých hodnot u konkrétních vzorků a následné převedení na tzv. normolity byl použit následující vzorec:

$$Nl = \frac{P1 * V1 * Temp2}{Temp1 * P2}$$

P1 = měrný tlak vzduchu

P2 = normální tlak

V1 = měřené množství plnu

Temp 1 = měřená teplota

Temp 2 = absolutní teplota nula

4.3.1 Podrobnější popis metody

Bylo zapotřebí použít očkovací materiál, který celý proces anaerobní digesce iniciuje. Proto jsme zvolili digestát bioplynové stanice. I v tomto případě bylo nutné zvolit vhodné množství samotného digestátu.

Pro účely této práce byly hodnoceny též vzorky, souhrnně označovány jako směsné, obsahující sušinu obou sledovaných rostlin v různých poměrech. Tyto vzorky sloužily primárně jako kontrola. Pro kontrolu celého procesu byly využity i vzorky obsahující navážku škrobu. Pro stanovení množství vytvořeného bioplynu z jednotlivých vzorků bylo nutno odečíst podíl bioplynu vytvořeného z inokulačního materiálu, resp. z digestátu. Celkový výčet vzorků je uveden v tabulce (Tabulka 10).

Tabulka 10 - Navážené směsi a jejich poměry z celkových 4 g

Směs	Poměr (%)	Hmotnost (g)
Mužák	1	4
Kukuřice	1	4
Mužák + Kukuřice	50:50	2 + 2
Mužák + Kukuřice	25:75	1 + 3
Škrob	1	4

K tomu, abychom mohli s přesností spočítat množství jednotlivých plynů, které vytvořila konkrétní navážená směs, jsme museli vzít do úvahu několik skutečností. Tyto skutečnosti jsme si vyjádřili do vzorce, s jehož pomocí jsme dostali hodnoty, které později uvádím v tabulce a je tak pro tento pokus stěžejní. V potaz

bylo třeba brát i aktuální vlhkost vzduchu, či teplotu. Následně byly tyto hodnoty vloženy do vzorce. Jednotlivé výsledky byly ihned zapisovány do tabulky a naměřené hodnoty už po pár vzorcích jasně deklarovaly, že každý vzorek vyprodukoval odlišné množství bioplynu.

5 Výsledky a diskuze

V posledních letech došlo k významnému navýšení počtu bioplynových stanic. Původní myšlenka bioplynových stanic, tedy přednostní využití odpadového materiálu, mnohdy nezůstala zachována a jako primární surovina je dnes často využívána fytomasa cíleně pěstovaných energetických rostlin. V podmínkách České republiky se jedná především o kukuřici setou. Pěstování kukuřice s sebou nese řadu environmentálních problémů, přičemž nejdiskutovanějším je problematika vodní eroze. Jednou z možností, jak tyto dopady snižovat, je náhrada kukuřice jinými rostlinami vhodnými k těmto účelům. Možnou alternativu představuje pěstování víceletých energetických rostlin, mezi které je řazen i mužák prorostlý.

Stěžejní část bakalářské práce byla uskutečněna na pozemcích Jihočeské univerzity, zemědělské fakulty. Veškerá zpracovaná data jsou následně přepočítána na plochu 1 ha. Následné hodnoty, kterých bylo dosaženo, jsou poznamenány několika faktory. Především nebylo dosaženo výnosů, jakých bylo očekáváno dle udávaných hodnot, které uvádí dostupná literatura. Studie, ze kterých bylo v této práci citováno, uvádí výnosy přesahující i 15 t/ha suché hmoty. Důvod nízkých výnosů potvrzují citované zdroje, které uvádí, že vysokých výnosů rostlina dosahuje až v následujících produkčních letech. Výsledky výzkumů, které jsou s výsledky této práce porovnávány, jsou získané právě ve druhém a vyšším produkčním roce. Lze tedy předpokládat, že v příštích letech by rostlina vykazovala hodnoty vyšší.

Výnosy fytomasy jsou vnímány jako základní údaj pro celkové zhodnocení obou sledovaných rostlin. V rámci této práce bylo dosaženo výnosu čerstvě sklizené fytomasy 13,8 t/ha. Aby bylo možné určit, a následně převést, celkový výnos sušiny na jednotku plochy, bylo nutné usušení části čerstvé hmoty, díky kterému byl stanoven výnos na plochu jednoho hektaru. Po usušení vzorku bylo získáno 0,210 kg, a tedy celková sušina byla stanovena na 21 %, čímž se dostaneme na celkový výnos sušiny, z plochy jednoho hektaru, pouze na 2,87 t.

Například v porovnání s USŤAK (2012), kde autor uvádí výnos při sklizni v době květu 15 t/ha sušiny, byl náš výnos znatelně nižší. Dle KÖHLER (2015), se průměrné výnosy sušiny pohybují na úrovni 14,3 t/ha. Tyto výnosy jsou velice odlišné a každá z dostupných studií udává rozdílné hodnoty. Mnoho studií uvádí

výnosy sušiny i přesahující hodnotu 20 t/ha (BAUBÖCK et al., 2014) a zároveň upozorňují na velké rozdíly ve výnosech vlivem například stanovištních podmínek.

Procentuální obsah sušiny během sklizně se výrazně liší (CONRAD, 2012), viz následující tabulka (Tabulka 11).

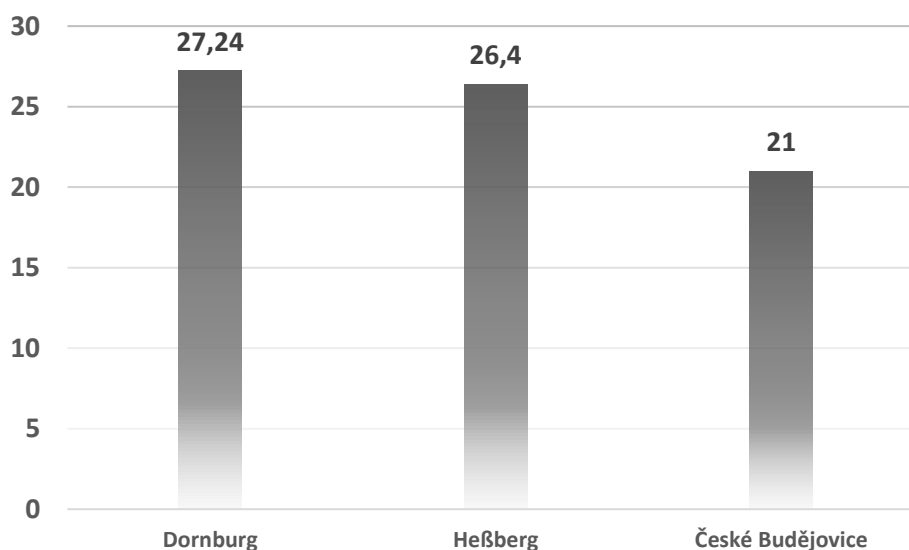
Tabulka 11 - Obsah sušiny mužáku prorostlého (původ Severní Amerika) v závislosti na termínu, pokusná stanoviště Dornburg a Heßberg v letech 2005–2009

Varinata	Obsah sušiny (%)										
	Rok	Dornburg					Heßberg				
		2005	2006	2007	2008	2009	2005	2006	2007	2008	2009
1		25,0	25,4	26,8	24,6	26,8	22,8	23,6	24,0	24,4	27,1
2		30,9	24,7	26,2	27,4	22,8	24,9	27,2	24,4	25,6	28,4
3		27,7	33,4	29,4	29,7	27,8	31,5	27,4	24,8	25,4	34,3

Zdroj: CONRAD, (2012)

Pro lepší srovnání s pokusy této studie jsou tyto hodnoty zprůměrovány a srovnávány s obsahem sušiny při sklizni v rámci této práce (Graf 3).

Graf 3- % obsah sušiny při sklizni v porovnání s pokusy v Německu



Následující tabulka (Tabulka 12) uvádí hodnoty získané během pokusných měření a následně jsou tyto výsledky porovnány s výsledky několika studií. Hodnoty, které jsou zde uvedeny, jsou průměrné hodnoty několika výzkumů, které uvádí

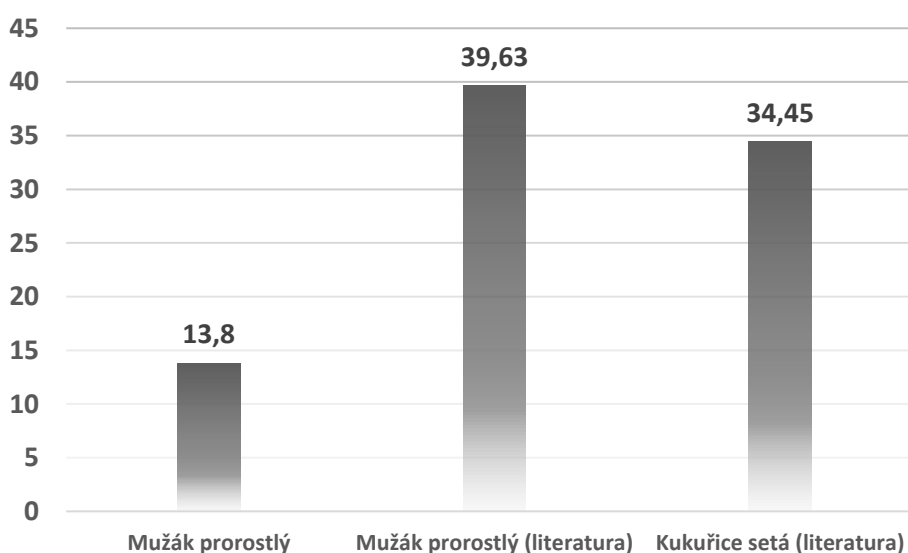
dostupná literatura. U kukuřice seté jsou zapsány průměrné výnosy (čerstvé hmoty a sušiny).

Tabulka 12 - Celkové hodnoty v rámci pokusných měření *Silphium Perfoliatum L.*

Rostlina	Výnos čerstvé hmoty (t/ha)	Výnos suché hmoty (t/ha)	Obsah CH ₄ ve vytvořeném bioplynu (%)	Skutečná výtěžnost CH ₄ (l/kg sušiny)	Výtěžnost CH ₄ (m ₃ /ha)	Teoretický energetický zisk (GJ/ha)
Mužák (ZF)	13,8	2,9	62,25	452,95	1310	46,7
Mužák (lit.)	39,63	16	54,33	343,75	4618	311
Kukuřice (lit.)	34,45	10,3	52,2	389,75	6042	404

Hodnoty, kterých bylo dosaženo, jsou ve většině případů při porovnání s kukuřicí velmi nízké. V některých případech se jednalo až o několikanásobně nižší výslednou hodnotu, než jakou uvádí literatura. Veškerá data jsou následně zaznamenána do grafů.

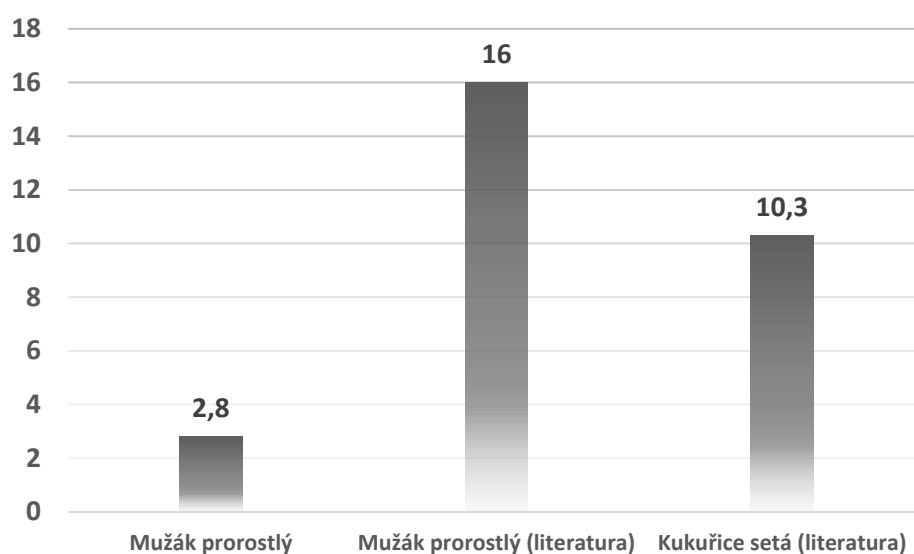
Graf 4 - Výnos čerstvé hmoty (t/ha)



Pro lepší porovnání byly zvoleny průměrné hodnoty výnosů kukuřice seté přímo z Jihočeského kraje dle ČSÚ za rok 2017 (ČSÚ, 2018). Výsledky, kterých bylo dosaženo, v rámci sledované rostliny, jsou ale velmi odlišné s dostupnými

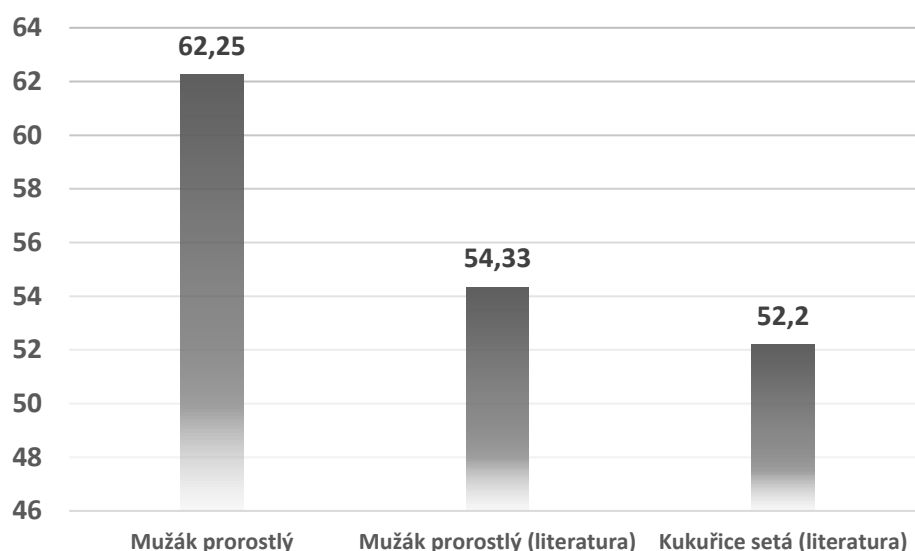
studiiemi. Výnos čerstvé hmoty nadzemní části rostliny dosahoval pouhých 13,8 t/ha. Dostupné zdroje ale uvádí, že výnosy čerstvé hmoty mužáku mohou dosahovat daleko vyšších hodnot. Například UŠTAK (2012) uvádí výnosy čerstvé hmoty ve dvou sečích. V první, probíhající v době kvetení, dosáhla výnosu 39,4 t/ha. V druhé seči, probíhající v době růstu stonku, byl výnos čerstvé hmoty o zhruba 10 t nižší a to celkových 29,5 t/ha. Je zde velká rozmanitost ve výsledcích mnoha studií. Například výzkum prováděný BAUBÖCK et al. (2014) uvádí výnos 50 t/ha čerstvé hmoty mužáku prorostlého.

Graf 5 - Výnos sušiny (t/ha)



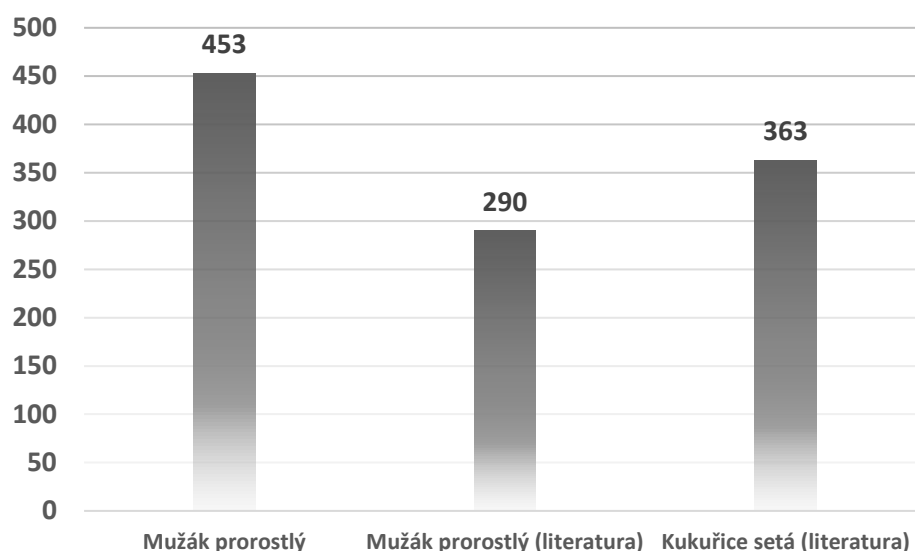
Graf č. 5 popisuje výnosy sušiny nadzemní části rostlin a stejně jako u předešlé tabulky, i zde jsou výsledky zkoumané rostliny výrazně nižší. Výsledek, kterého mužák prorostlý dosáhl, byl pouze 2,9 t/ha. Stejně jako u hodnot výnosů čerstvé hmoty, i zde uvádí dostupná literatura předpoklady výnosového potenciálu mužáku daleko vyšší. Německá studie z Hannoveru od BAUBÖCK et al. (2014) uvádí výnosy suché hmoty v rozmezí od 17 t/ha, až do 19 t/ha. UŠTAK (2012) dosáhl velmi podobných výsledků a jednalo se pouze o 2 t/ha sušiny méně. Pro další porovnání jsou v průměrné hodnotě zahrnuty výsledky GANSBERGER et al., (2014), ve kterých bylo dosaženo 13,79 t/ha. Průměrná hodnota těchto výzkumů tedy činila celkových 16 t suché hmoty/ha.

Graf 6 – Obsah CH₄ v bioplynu (%)



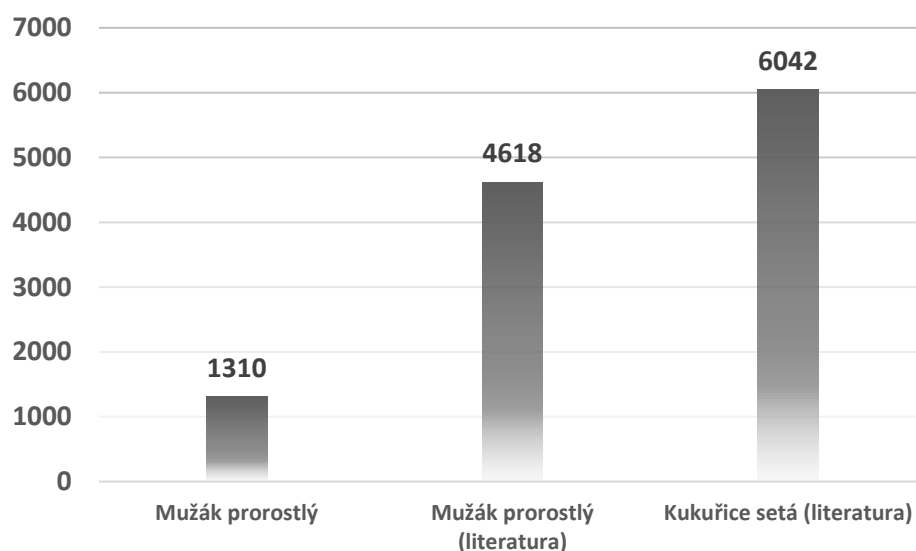
Dalším porovnáním byl obsah metanu ve vyprodukovaném bioplynu. Obsah, kterého dosáhl mužák v rámci této studie, byl 62,25 %. V porovnání s průměrnými hodnotami byla tato hodnota poměrně vysoká. Výsledná procenta obsahu metanu ve vytvořeném bioplynu byla, dle citované literatury, mezi mužákem a kukuřicí velice podobná. PILARSKI (2016) a jeho měření vykazovala 53,66 % metanu. Podobného výsledku dosáhl i GERSTBERGER (2016) a to pouze o 1,34 % více, tedy 55 %. V porovnání s kukuřicí šlo pouze o minimální rozdíly a například ȚÎȚEI (2002) a jeho výzkum z Moldavska vykazoval hodnotu obsahu metanu kukuřice 52,4 %. Velmi podobného výsledku dosáhl i MEERS (2010) s hodnotou 52 %. Vypočítáním průměrné hodnoty u mužáku dostaneme tedy 54,33 % a u kukuřice 52,2 % metanu ve vytvořeném bioplynu. Je nutno podotknout, že stanovení obsahu metanu ve vzorku je do určité míry ovlivněno volbou metodiky.

Graf 7 - Výtěžnost CH₄ (l/kg sušiny)



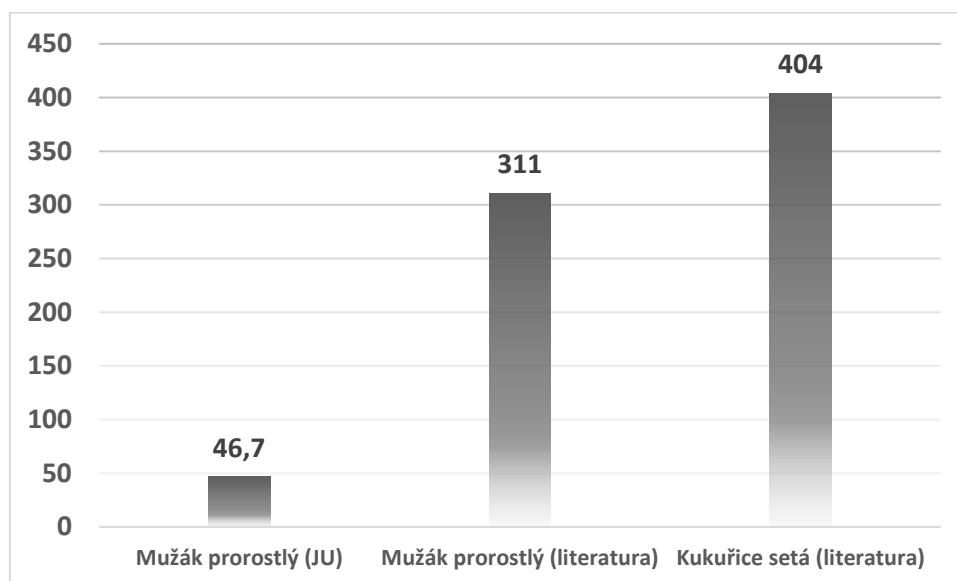
Graf č. 6 popisuje výtěžnost metanu (l/kg sušiny). V tomto srovnání byla pokusná měření této práce a jejich výsledky převyšující nad výsledky dostupných zdrojů. Výtěžnost, které bylo dosaženo během pokusů v rámci bakalářské práce, činila 452,95 l CH₄/kg sušiny. PFÄNDER (2015) ve svých výsledcích uvádí výtěžnost metanu v rozmezí 284-300 l CH₄/kg sušiny. CONRAD (2009) ve své studii dosáhl podobného výsledku, a sice 320 l CH₄/kg sušiny. Existuje však studie, která dosahovala znatelně vyšších hodnot. TĪTĪEI (2002) a jeho výsledné hodnoty výtěžnosti metanu činily 471 l CH₄/kg sušiny. Stejný autor uvádí vysoké produkce metanu i v rámci pěstování kukuřice. U této plodiny se výsledek dostal až na 558 l CH₄/kg sušiny. V pokusných měřeních, v rámci výtěžnosti metanu kukuřice, figurují i data dle WURTH (2015), a to hodnoty v rozmezí 363-369 l CH₄/kg sušiny. Dalším srovnáním v produkci metanu je i PFÄNDER (2015) s výtěžností 269 l CH₄/kg sušiny. Celkovým zprůměrováním zmíněných studií byla výsledná hodnota výtěžností 290 l CH₄/kg u mužáku a 363 l CH₄/kg u kukuřice. Produkce metanu tedy byla v průměru o 73 l CH₄/kg sušiny vyšší u kukuřice.

Graf 8 - Výtěžnost CH₄ (m³/ha)



Oproti zmíněné literatuře a jejich pokusných měření vykazují mužák v porovnání s kukuřicí velmi nízkých výsledků. Výtěžnost metanu dosáhla hranici 1310 m³/ha. Na rozdíl od kukuřice, která je schopna dosahovat výtěžnosti metanu 6042 m³/ha. Výnosové parametry mužáku uváděné, v tematicky zaměřené literatuře, se výrazně liší. Nejvyšší výtěžnosti metanu bylo dosaženo v rámci studie SCHWERPUNKT (2016). Ta uvádí hodnotu 5680 m³/ha. Další studií, která byla v průměru započítána, byla PFÄNDER (2015), jehož výsledek činil 4500 m³/ha. Nejmenší výtěžnost, v rámci pozorování mužáku, dosáhl ŤÍŤEI (2002). Pokusná měření, v rámci této práce vykazovala hodnotu 3675 m³/ha. V porovnání s kukuřicí a dostupnými zdroji stojí za zmínku KAISER (2007), který dosáhl, oproti jiným autorům, značně vysoké výtěžnosti 8000 m³/ha. Studie, která také dosahovala vysokých čísel je i CONRAD (2009) s hodnotou 7000 m³/ha. ŤÍŤEI (2002) ve své práci vyhodnocuje kukuřici s hodnotou nižší, a to 3127 m³/ha. Celková zprůměrovaná výtěžnost metanu tedy činí 4618 m³/ha u mužáku a 6042 m³/ha kukuřice.

Graf 9 - Teoretický energetický zisk (GJ/ha)



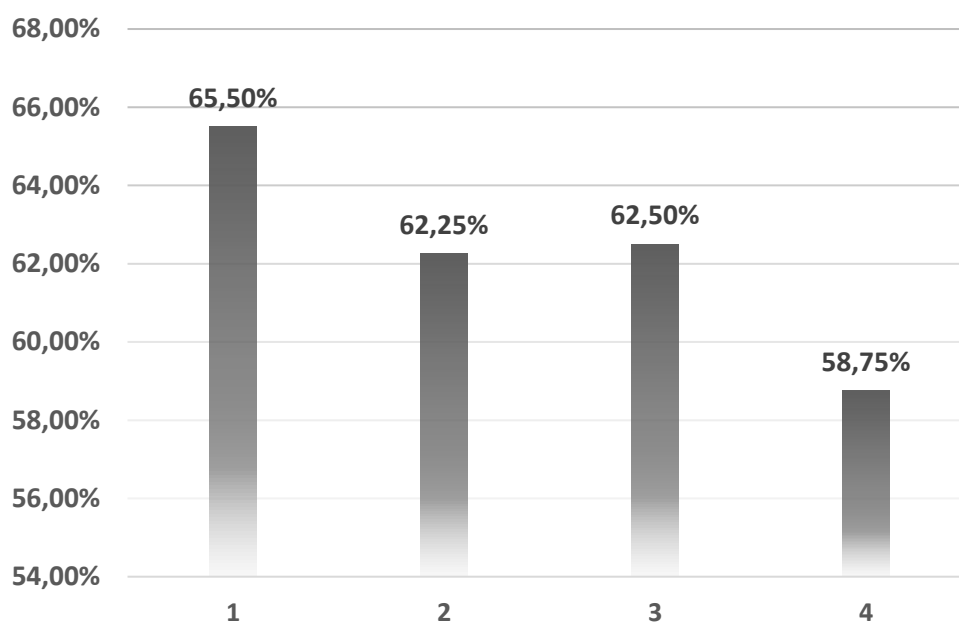
Největší teoretický energetický zisk u sledovaných rostlin vykazuje kukuřice. Hodnota energetického zisku, kterého mužák, pěstovaný na univerzitní půdě dosáhl, byl pouze 46,7 GJ/ha. Nejvyšších hodnot, sledující energetický zisk mužáku dosáhl ŤÍŤEI (2002), který ve své práci dosáhl 365 GJ/ha. O poznání menších hodnot bylo vypočítáno během studie BUDZYNSKI (2004), kde jeho energetický zisk činil 257 GJ/ha. Zprůměrováním těchto dvou hodnot tedy dostaneme teoretický energetický zisk o hodnotě 311 GJ/ha. Kukuřice celkově v dostupné literatuře vykazuje větší zisk a JANKOWSKI (2016) během 4 let dosáhl několika rozdílných výsledků. Jeho studie energetického zisku během těchto let činila hodnoty od 350 GJ/ha do 434 GJ/ha. Výsledná, zprůměrovaná hodnota tedy dosáhla na 404 GJ/ha. Zdroje, které jsou zde uváděny tedy prokazují vyšší energetický zisk u kukuřice.

V následující tabulce (Tabulka 13) uvádím procentuální zastoupení CH₄ ze vzniklého bioplynu jednotlivých vzorků. Na základě tabulky byl vytvořen graf (č. 11), který nám jasně ukazuje, jaký vzorek vykazoval největší, a jaký naopak nejmenší % podíl CH₄ ze vzorku sušiny. Je patrné, že nejvyššího % obsahu CH₄ v bioplynu bylo získáno z čistého vzorku sušiny kukuřice seté. Naopak nejmenší hodnoty vykazoval vzorek směsi mužáku a kukuřice, a to v poměru 25:75.

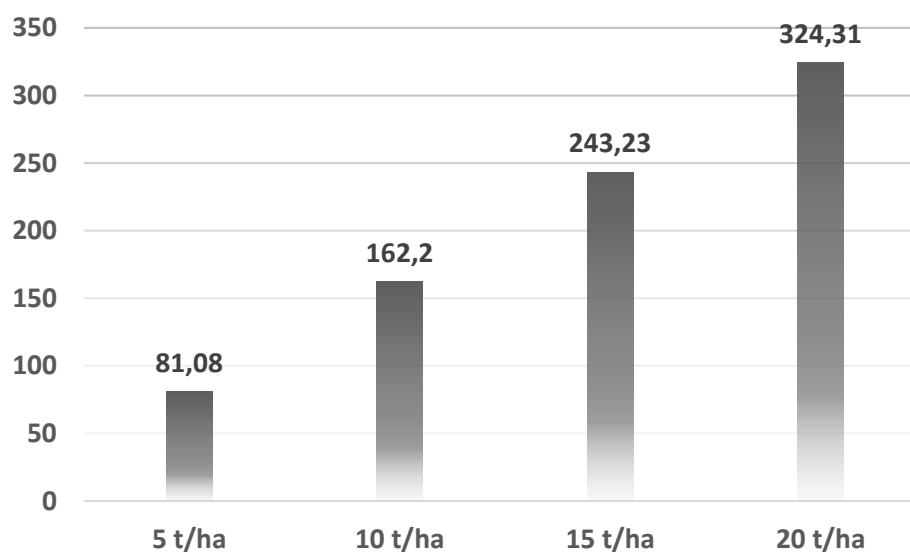
Tabulka 13 - % obsah metanu ve vytvořeném bioplynu

Č. vzorku	1	2	3	4
Vzorek (poměr)	Mužák	Kukuřice	Mužák + Kukuřice (50:50)	Mužák + Kukuřice (25:75)
% CH ₄	62,25	65,5	62,5	58,75

Graf 10 - % obsah metanu ve vytvořeném bioplynu



Graf 11 - Teoretický energetický zisk při různých výnosech mužáku pěstovaného na JU (GJ/ha)



Zmiňovaní autoři, zaměřující se ve svých studiích pěstováním mužáku prorostlého, vykazují průměrný energetický zisk 311 GJ/ha. Při výtěžnosti 452,95 l CH₄/ha bychom tak museli dosáhnout výnosů suché hmoty 20 t/ha. Až při tomto výnosu sušiny, bychom se dostali na hodnoty energetického zisku, jako uvádí dostupné zdroje.

Dle GANSBERGERa et al. (2014) a jeho výzkumů na pozemcích s různými půdně-klimatickými podmínkami bylo dosaženo rozdílných výsledků. Ve srovnání s výsledky na půdním druhu, na kterém byla uskutečněna i tato studie, bylo dosaženo hodnot daleko nižších. Výsledky pokusných měření mužáku jsou navíc poznamenány tím, že se jedná o jeho první produkční rok. Na základě mnohých metodik je ale skutečností, že mužák vykazuje vyšších hodnot po druhém či třetím roce. (UŠŤAK, 2012)

Pokud jde ale o výtěžnost CH₄, zajímavé porovnání bychom dostali s UŠŤAK (2012), který během první seče v květnu dosáhl výtěžnosti 1847 m³/ha a druhé seče (v září) 1055 m³/ha. Výtěžnost metanu této studie dosáhla hodnoty 1310 m³/ha.

Podle HARTMANN (2017) se výtěžek methanu obecně značně liší. Naměřené hodnoty, v rámci autorově studii, potvrzují rozličnost výsledků. Rozmezí naměřených hodnot během výzkumu pohybovala mezi 220 a 300 Nl/kg. Důvodem tohoto rozmezí je několik a závisí především na času sklizně, místě, kde je rostlina pěstována, popřípadě v jakém produkčním roce se sklizeň porostu provádí. Další skutečností, která má vliv na výtěžnost methanu, je obsah nestravitelných složek. Čím více se těchto složek v sušině fytomasy nachází, tím výtěžnost metanu klesá.

Důležitým faktorem při rozhodování, zda je pěstování mužáku vhodnou cestou, je i enviromentální stopa. Z hlediska enviromentálních aspektů v porovnání s kukuřicí setou jde především o erozi. Systém některých dnešních systémů, pokud jde o střídání plodin v rámci osevních postupů, není příliš pestrý a negativně tak působí na kvalitu zemědělské půdy. Následek této monotónii, v rámci pěstování plodin na zemědělské půdě, může být nejen zmiňovaná eroze, ale i například zhutnění půdy, degradace organické hmoty, či celkové snížení úrodnosti půdy. Pokud jde o erozní ohrožení v porovnání s kukuřicí setou, mužák prorostlý vzhledem k vytvoření hustého porostu napomáhá této hrozbě předejít. Pěstování této, nadějně se rozvíjející, rostliny může zajistit i vysokou produkci technické fytomasy, která je

následně energeticky využívána. (USŤAK, 2012). V případě pěstování mužáku se jedná také o rostlinu, vhodnou pro rekultivaci půdy (GANSBERGER et al., 2014). Účely, které navíc mužák plní, nenachází svá uplatnění pouze v rámci energetiky, či krmivářství. Jak již bylo v této práci zmíněno, jde i o rostlinu medonosnou a množství medu, které lze na jednotku plochy získat, není nijak zanedbatelné (USŤAK, 2012).

V České republice se bohužel mužák dostal pouze do pokusných fází, zatímco například v Německu jde již o dlouhodobě pěstovanou rostlinu. Výsledky některých studií vykazují velice perspektivní výsledky výnosů. Například CONRAD (2009), a jeho studie v Dornburgu, uvádí výnosy sušiny v jednotlivých letech 2005-2009 v průměru 21,6 t/ha. Následně byly hodnoty porovnávány s výnosy sušiny kukuřice, která dosáhla téměř o 2 t nižších hodnot, a to 19,6 t/ha. Pokud jde o tuto studii, výnosy mužáku byly pozorovány na více místech v Německu a zaznamenaná data o výnosech sušiny převyšovala u mužáku.

Jedním z důležitých faktorů je i ekonomické hledisko, které pravděpodobně mnoho lidí ze zemědělského sektoru odradí. Zatímco založení porostu u kukuřice seté se pohybuje v rozmezí od 20 do 22 tisíc Kč/ha (DIVIŠ, 2011), založení mužáku je podstatně dražší. Pokud se ale podíváme na výsledné náklady a na fakt, že se jedná o vytrvalou rostlinu, dostaneme poněkud čísla jiná. Náklady, rozpočítány rovným dílem pro následujících 10 let pěstování, činí zhruba 38,5 tis. Kč/ha (USŤAK, 2012).

6 Závěr

Cílem této práce bylo zhodnotit produkční schopnosti mužáku prorostlého (*Silphium Perfoliatum L.*), jako jedné z alternativních rostlin a následně tyto výsledky porovnat s tradiční plodinou, kukuřicí setou (*Zea Mays L.*) v rámci využitelnosti pro BPS. Tradičně je již mužák prorostlý pěstován pro účely bioplynových stanic, či pro účely krmivářské v sousedním Německu. Zde je běžně dosahováno výnosů sušiny přesahující hodnotu 15 t/ha. V rámci tohoto sledování bylo dosaženo výnosu suché hmoty pouze 2,8 t/ha, zatímco v uvedených zdrojích vykazovaly hodnoty výnosu několikanásobně vyšší. Celkový obsah sušiny porostu během sklizně činil 21 %. V rámci výtěžnosti metanu, v porovnání s kukuřicí, bylo dosaženo rozdílných výsledků. V případě procentuálně vyjádřeného obsahu CH₄ ve vzniklém bioplynu, vykazoval mužák převyšujících hodnot, na rozdíl od kukuřice. Jeho celkový obsah metanu v bioplynu činil 62,25 %. Kategorie, ve kterých mužák vykazoval vyšších hodnot než kukuřice, v rámci této práce, byla i skutečná výtěžnost CH₄, a to s výslednou hodnotou 452,95 l/kg. V případě zbylých kategorií však vyšších hodnot dosahovala kukuřice, a to v poměrně znatelných rozdílech. Při výtěžnosti metanu byla získána hodnota pouze 1310 m³/ha. Poslední srovnání spočívalo v energetickém zisku, ve kterém by mužák s daným výnosem suché hmoty a výtěžností metanu dosáhl pouze na 46,7 GJ/ha. Jedním z hlavních důvodů, proč se výsledky více nepřibližovaly hodnotám zmiňovaných pokusů, lze přičíst například stáří porostu. Jednalo se o první produkční rok, kdy porost nedosahuje plného výnosového potenciálu. Na základě dostupné literatury lze ale předpokládat, že druhý produkční rok (2018) by mužák dosáhl znatelně vyšších hodnot, a to především z hlediska výnosů fytomasy. V mnohých výzkumech totiž hodnoty mužáku převyšovaly nad hodnotami kukuřice. Dalším faktorem, který mohl zásadně ovlivnit průběh pokusu, byly stanovištní podmínky. Na základě citované literatury je jedním z klíčových faktorů, jak dosáhnout vysokých výnosů půda s hlubokou orniční vrstvou, bohatou zásobou humusu nebo dostatečný obsah základních živin.

Na rozdíl od České republiky se v Německu mužák dostal do fáze, kdy je záměrně pěstován na zemědělské půdě a plní tak své předpoklady, ať už jako energetická rostlina pro následné využití v bioplynových stanicích, nebo jako krmivo pro hospodářská zvířata. Jedním z důvodů, proč se rostlině na našem území nedostává vyšší pozornosti, může být vysoká počáteční investice. Problematika

pěstování mužáku prorostlého, a obecně vytrvalých energetických rostlin, s sebou nese určitou skepsi. Návratnost investice se totiž může objevit až v následujících produkčních letech. Kukuřice setá tak dál plní své účely i přesto, že zde existuje alternativní cesta v podobě mužáku prorostlého, který dle dostupných studií vykazuje velmi slibný potenciál, a to i z hlediska enviromentálních aspektů. Vzhledem k víceletému pokrytí půdy je riziko eroze, vyluhování, či vyplavování živin znatelně nižší.

Na základě studií, ze kterých bylo v této práci čerpáno, lze předpokládat, že v porovnání s kukuřicí se jedná o rostlinu, která má vysoký potenciál této plodiny minimálně konkurovat. Hodnoty, kterých mužák v mnoha výzkumných studiích dosáhl, se jen minimálně rozcházel s hodnotami kukuřice a v některých případech bylo dokonce vykazováno výsledků lepších. V rámci polních pokusů jsou ale výsledky bohužel nesrovnatelné.

7 Seznam literatury

1. ALTMANN, Vlastimil: (2010) Nakládání s biologicky rozložitelnými odpady. Biom.cz [online]. 2010-08-18 [cit. 2018-04-12]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/nakladani-s-biologicky-rozlozitelnymi-odpady>>. ISSN: 1801-2655.
2. BAČÍK, Ondřej: (2008) Bioplynové stanice: technologie celonárodního významu. Biom.cz [online]. 2008-01-14 [cit. 2018-04-14]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovе-stanice-technologie-celonarodniho-vyznamu>>. ISSN: 1801-2655.
3. BAUBÖCK, Roland, Marianne Karpenstein-Machan, and Martin Kappas. "Computing the biomass potentials for maize and two alternative energy crops, triticale and cup plant (*Silphium perfoliatum* L.), with the crop model BioSTAR in the region of Hannover (Germany)." *Environmental Sciences Europe* 26.1 (2014): 19.
4. BPS PROJEKT. (2014) Bioplynové stanice: Bioplynové stanice jako obnovitelný zdroj energie. BPS Projekt[online]. Ostrava [cit. 2016-11-12]. Dostupné z: <<http://www.bpsprojekt.cz/cs/obsah/bioplynovе-stanice>>
5. BUDZYNSKI, W., & Bielski, S. (2004). Surowce energetyczne pochodzenia rolniczego. Cz. II. Biomasa jako paliwo stałe. (Artykuł przeglądowy). *Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura*, 3(2).
6. BUFKA, A. a kol. Obnovitelné zdroje energie v roce 2009. (2010) Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR online. cit. 2011-03-20. Dostupný na WWW: <<http://www.mpo.cz/dokument80034.html>>
7. CENEK, Miroslav. (2001) Obnovitelné zdroje energie. 2. upr. a dopl. vyd. Praha: FCC Public. ISBN 80-901985-8-9.
8. CONRAD, M., A. VETTER a A. BIERTUMPFEL. (2009) Durchwachsene silphie (*Silphium Perfoliatum* L.) - von der Futterpflanze zum Koferment [online]. 14 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <file:///C:/Users/spravce/Documents/JCU/BP%20-%20mu%C5%BE%C3%A1k%20prorostl%C3%BD/PDF/silp1109.pdf>
9. CZBA: (2013) Česká bioplynová asociace [online]. České Budějovice, [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <<http://www.czba.cz/>>

10. CZ Biom: (2004) Realizační program pro biologicky rozložitelné odpady. CZ Biom. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/nakladani-s-biologicky-rozlozitelnymi-odpady>>
11. ČHMÚ: (2017) Historická data: Počasí: Územní teploty. Portál ČHMÚ: Home [online]. Dostupné z: <<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>>
12. ČSÚ. (2018) Definitivní údaje o sklizni zemědělských plodin - 2017: Sklizeň zemědělských plodin v roce 2017 podle krajů. Český statistický úřad [online]. 16.2.2018 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <<https://www.czso.cz/csu/czso/definitivni-udaje-o-sklizni-zemedelskych-plodin-2017>>
13. DOLEŽAL, Jan. (2012) Biopaliva jako odpověď na změnu klimatu? Praha: Glopolis. ISBN 978-80-87753-11-8.
14. DVOŘÁČEK A KOL. (2009) Výstavba komunálních bioplynových stanic s využitím BRKO: Biom [online]. Praha, [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <<https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/bioplynky.pdf>>
15. ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. (2015) [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.eru.cz>
16. FUKSA, P: (2009) Netradiční využití biomasy v praxi [cit. 2016-08-1] Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/netradicni-vyuziti-biomasy-v-praxi>>
17. GANDALOVIČ, Petr, Jan ROVENSKÝ, Ladislav TAJOVSKÝ, Ivan BŘEZINA, Petr HAVEL, Jiří HANZLÍČEK a Alena ROLLEROVÁ. (2009) Biopaliva: Pomoc přírodě nebo zločin proti lidskosti? Centrum pro ekonomiku a politiku. ISBN 978-80-87806-61-6.
18. GANSBERGER, Markus, (2014) Lucy FR Montgomery, and Peter Liebhard. "Botanical characteristics, crop management and potential of *Silphium perfoliatum* L. as a renewable resource for biogas production: A review." *Industrial Crops and Products* 63: 362-372.
19. GERSTBERGER, Pedro. (2016) Beispiele für den Landkreis Bayreuth zur Ernte 2016.: (Vergleich Silomais mit Durchwachsener Silphie-Biogasproduktion [online]. Universität Bayreuth, s. 3 [cit. 2018-04-18].

Dostupné z:

<<http://www.becherpflanze.de/bilder/Produktionskostenvergleich.pdf>>

20. GORIVO (2018): Registrovaný distributor pohonných hmot [online]. [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <<https://www.gorivo.cz/files/smesna-motorovanafta.pdf>>
21. HARTMAN, Anja. (2017) Durchwachsene Silphie als Biogassubstrat [online]. Freising, 14 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <<http://www.biogasforum-bayern.de/media/files/0001/Durchwachsene-Silphie-als-Biogassubstrat.pdf>>
22. HONGWEI WU, (2005) Qiang FU, Rick GILES, John BARTLE. Energy Balance of Mallee Biomass Production in Western Australia. In: Bioenergy Australia 2005 - "Biomass for Energy, the Environment and Society". Rydges, Melbourne 12-14 December 2005: Full paper, Peer Reviewed
23. HŮLA, J., PROCHÁZKOVÁ B. (2002): Vliv minimalizačních a půdoochranných technologií na plodiny, půdní prostředí a ekonomiku. Zemědělské informace ÚZPI
24. CHRESTENSEN, N.L. (2012) Anbauanleitung für die Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum*) [online]. 12/2012, 8 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: http://www.rekulta.org/fileadmin/downloads/Ziel3-Projektstatus/2013_07_10_Feldtag/Silphie_Anbauanleitung_2013.pdf
25. JAKUBES A KOL., (2006) MODERNÍ VYUŽITÍ BIOMASY: TECHNOLOGICKÉ A LOGISTICKÉ MOŽNOSTI [online]. [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <<https://www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf> >
26. JANKOWSKI, K. J., Dubis, B., Budzyński, W. S., Bórawski, P., & Bułkowska, K. (2016). Energy efficiency of crops grown for biogas production in a large-scale farm in Poland. *Energy*, 109, 277-286.
27. KAISER, (2007) Felipe a Andreas GRONAUER. Methanproduktivität nachwachsender Rohstoffe in Biogasanlagen [online]. 7/2007, 24 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/p_27455.pdf>
28. KALETOVÁ, Alice. (2011) BIOPLYN JAKO ALTERNATIVNÍ ZDROJ ENERGIE V ČESKÉ REPUBLICE. Brno, 2011. Diplomová práce. Masarykova Univerzita. Vedoucí práce Ing. Vilém Pařil.

29. KÁRA, Jaroslav. (2005) Energetické rostliny: technologie pro pěstování a využití. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky. ISBN 80-86884-06-6
30. KÁRA, Jaroslav. (2007) Výroba a využití bioplynu v zemědělství. Praha: VÚZT. ISBN 978-80-86884-28-8
31. KÖHLER, Johannes. (2015) Feldversuche mit der Becherpflanze (*Silphium perfoliatum*): Wie gelingt der Anbau in der Praxis? [online]. 27.8.2015, 26 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z:
<https://www.landwirtschaft.sachsen.de/landwirtschaft/download/Silphie_Koehler_TLL.pdf>
32. KRATOCHVÍLOVÁ A KOL., (2009) Zuzana. Průvodce výrobou a využitím bioplynu. CZ Biom [online]. Praha, 160 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z:
<https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Pruvodce_vyrobu_vyuzitim_bioplynu_2.pdf>
33. LAURIN, Josef: (2008) Rostlinné oleje jako motorová paliva. Biom.cz [online]. 2008-10-29 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z WWW:
<<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/rostlinne-oleje-jako-motorova-paliva>>. ISSN: 1801-2655
34. LIBRA, (2006) Martin a Vladislav POULEK. Solární energie: fotovoltaika-perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti. 2., dopl. vyd. V Praze: ČZU. ISBN 80-213-1488-5
35. MEERS, E., Van Slycken, S., Adriaensen, K., Ruttens, A., Vangronsveld, J., Du Laing, G., ... & Tack, F. M. G. (2010). The use of bio-energy crops (*Zea mays*) for 'phytoattenuation' of heavy metals on moderately contaminated soils: a field experiment. *Chemosphere*, 78(1), 35-41.
36. MOUDRÝ, Jan. (2011) Alternativní plodiny. Praha: Profi Press. ISBN 978-80-8672-640-3.
37. MPO. (2016) Obnovitelné zdroje energie: Obnovitelné zdroje energie v roce 2016 [online]., 59 [cit. 2018-04-21]. Dostupné z:
<<https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2018/2/Obnovitelne-zdroje-energie-v-roce-2016.pdf>>
38. MZe, (2013) Možnosti energetického využití biomasy: ukázka praktických opatření z Akčního plánu pro biomasu v ČR na období 2012-2020. Praha: Ministerstvo zemědělství. ISBN 978-80-7434-122-9.

39. MUŽÍK, (2009) Oldřich, KÁRA, Jaroslav: Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. Biom.cz [online]. 2009-03-04 [cit. 2018-04-16]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>>. ISSN: 1801-2655.
40. Obnovitelné zdroje energie pro venkov a teplárenství (2006), Hradec Králové, 25. a 26. dubna 2006: sborník konference Ministerstva životního prostředí. Pardubice: Parexpo.
41. OCHODEK, T., Koloničný, J., & Janásek, P. (2006). Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy. ISBN, 80, 248-1207
42. ORAVOVÁ, Monika. (2010) Obnovitelné zdroje energie (nejen) pro knihovny. Ostrava: Moravskoslezská vědecká knihovna v Ostravě. ISBN 978-80-7054-125-8
43. PASTOREK, Zdeněk, (2004) Jaroslav KÁRA a Petr JEVIČ. Biomasa: obnovitelný zdroje energie. Praha: FCC PUBLIC. ISBN 80-86534-06-5
44. PETŘÍKOVÁ, Vlasta. (2002) Obnovitelná energie z polních kultur. Biom.cz [online]. 2002-02-05 [cit. 2013-11-19]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/obnovitelnaenergie-z-polnich-kultur>. ISSN: 1801-2655>
45. PETŘÍKOVÁ, Vlasta. (2006) Energetické plodiny. Praha: Profi Press. ISBN 80-86726-13-4
46. PFÄNDER, Andreas. (2015) Alternative Energiepflanzen [online], 43 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <<file:///C:/Users/spravce/Downloads/Durchwachsene%20Silphie.pdf>>
47. PILARSKI, K., Pilarska, A. A., Witaszek, K., Dworecki, Z., Żelaziński, T., Ekielski, A., ... & Michniewicz, J. (2016). The Impact of Extrusion on the Biogas and Biomethane Yield of Plant Substrates. *Journal of Ecological Engineering*, 17(4).
48. QUASCHNING, Volker. (2010) Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
49. SCHWERPUNKT. (2016) Durchwachsene Silphie: Eine Alternative zu Silomais? [online]. 16.7.2016, 3 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://www.fnr.de/uploads/media/Artikel_verkleinert_II.pdf>
50. SOUČKOVÁ, Helena a Jan MOUDRÝ, ed. (2005) Využití fytomasy pro energetické účely: sborník vědeckých publikací z mezinárodního semináře

- "Nepotravinářské využití fytohmasy": [v Českých Budějovicích ... dne 1.9.2005]. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2005. ISBN 80-704-0833-2
51. SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. (2000) Obnovitelné zdroje energie v jižních Čechách a Horním Rakousku. Praha: EkoWATT. ISBN 8023865846
 52. STUPAVSKÝ, Vladimír (2012): Biomasa na vzestupu, ostatní stagnují. Biom.cz [online]. 2012-01-23 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-na-vzestupu-ostatni-stagnuji>>. ISSN: 1801-2655.
 53. TEREOS TTD, a.s. (2018) - Bioethanol. Tereos TTD, a.s. [online]. Cukrovary a lihovary TTD, a. s. [cit. 14.04.2018]. Dostupné z: <<http://www.cukrovaryttt.cz/agroetanol-ttd/vyroby/bioethanol/>>
 54. ȚÎȚEI, Victor. (2002) THE EVALUATION OF BIOMASS OF THE *Sida hermaphrodita* AND *Silphium perfoliatum* FOR RENEWABLE ENERGY IN MOLDOVA. Chișinău: Scientific Papers, 7. ISSN 2285-5785.
 55. UŠŤÁK, Sergej. (2012) Možnosti pěstování mužáku prorostlého *Silphium perfoliatum* L. pro výrobu bioplynu: metodika pro praxi. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby. ISBN 978-80-7427-099-4
 56. Vítejte na zemi: (2013) Multimediální ročenka životního prostředí [online]. [cit. 2018-04-16]. Dostupné z: <<http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=bionafta&site=doprava>>
 57. WEGER, Jan: (2009) Topoly a vrby k energetickému užití. Biom.cz [online]. 2009-08-10 [cit. 2018-03-30]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz-pestovani-biomasy/odborne-clanky/topoly-a-vby-k-energetickemu-uziti>>. ISSN: 1801-2655
 58. WEGER, J. (2012). Možnosti pěstování biomasy jako energetického zdroje v Ústeckém kraji. Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví. ISBN 978-80-85116-66-3
 59. WURTH, W., A. JILG, J. MESSNER, C. LÖFFLER, M. ELSÄßER a A. ZÜRCHER. (2015) Was leisten „alternative“ Kulturen im Vergleich zu Energiemais? [online]. 5 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: <https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/aggf_2015_wurth_et_al.pdf>

8 Přílohy

Seznam použitých zkratk

BPS	bioplynová stanice
BRKO	biologicky rozložitelný komunální odpad
BRO	biologicky rozložitelné odpady
ČHMÚ	český hydrometeorologický ústav
ČOV	čistička odpadních vod
MEŘO	metylester řepkového oleje
OZE	obnovitelné zdroje energie
RRD	rychle rostoucí dřeviny
TKO	tuhý komunální odpad
TTP	trvale travní porost

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Vzházení <i>Silphium Perfoliatum</i> L. 23.3.17	57
Obrázek 2 – Stav parcely po prvním pletí, 5.4.17.....	58
Obrázek 3 – Mulčování, 9.6.17	58
Obrázek 4 – Květy <i>Silphium perfoliatum</i> L., 23.8.2017.....	59
Obrázek 5 - Jednotlivé vzorky sušiny fyto-masy při pokusném měření, 5.10.2017 ...	59
Obrázek 6 - Speciální vaky na zachytávání vznikajícího bioplynu, 5.10.2017	60

Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehled základních OZE v ČR.....	11
Tabulka 2 - Jednoleté energetické byliny.....	24
Tabulka 3 - Víceleté energetické byliny	25
Tabulka 4- Průměrný obsah mikroelementů v porovnání s kukuřicí setou	28
Tabulka 5 – Charakteristika lokality	31
Tabulka 6: Průměrné měsíční teploty v roce 2016 podle ČHMÚ.....	32
Tabulka 7: Průměrné měsíční teploty v roce 2017 podle ČHMÚ.....	32
Tabulka 8 – Metodika hnojení mužáku prorostlého v roce založení	33
Tabulka 9 - Metodika hnojení mužáku prorostlého v produkčních letech.....	33
Tabulka 10 - Navážené směsi a jejich poměry z celkových 4 g	35

Tabulka 11 - Obsah sušiny mužáku prorostlého (původ Severní Amerika) v závislosti na termínu, pokusná stanoviště Dornburg a Heßberg v letech 2005–2009.....	38
Tabulka 12 - Celkové hodnoty v rámci pokusných měření <i>Silphium Perfoliatum</i> L.	39
Tabulka 13 - % obsah metanu ve vytvořeném bioplynu.....	45

Seznam grafů

Graf 1 - Spotřeba bioplynu k energetickým účelům v roce 2013	19
Graf 2 - Spotřeba bioplynu k energetickým účelům v roce 2016	19
Graf 3- % obsah sušiny při sklizni v porovnání s pokusy v Německu	38
Graf 4 - Výnos čerstvé hmoty (t/ha)	39
Graf 5 - Výnos sušiny (t/ha).....	40
Graf 6 – Obsah CH ₄ v bioplynu	41
Graf 7 - Výtěžnost CH ₄ (l/kg sušiny).....	42
Graf 8 - Výtěžnost CH ₄ (m ³ /ha)	43
Graf 9 - Teoretický energetický zisk (GJ/ha).....	44
Graf 10 - % obsah metanu ve vytvořeném bioplynu	45
Graf 11 - Teoretický energetický zisk při různých výnosech mužáku pěstovaného na JU (GJ/ha)	45

Obrázek 1 – Vzcházení *Silphium Perfoliatum* L. 23.3.17



Autor: David Malina

Obrázek 2 – Stav parcely po prvním pletí, 5.4.17



Autor: David Malina

Obrázek 3 – Mulčování, 9.6.17



Autor: David Malina

**Obrázek 4 – Květy *Silphium perfoliatum* L.,
23.8.2017**



Autor: David Malina

**Obrázek 5 - Jednotlivé vzorky sušiny fyto-masy při
pokusném měření, 5.10.2017**



Autor: David Malina

**Obrázek 6 - Speciální vaky na zachytávání vznikajícího bioplynu,
5.10.2017**



Autor: David Malina