

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Agroekologie

Specializace: Ekologické zemědělství

Katedra: Agroekosystémů

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Pěstování *Silphium perfoliatum* L. pro účely
produkce bioplynu**

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

Autor diplomové práce: Bc. David Malina

ČESKÉ BUDĚJOVICE, 2020

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. David MALINA
Osobní číslo: Z18011
Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství
Studijní obor: Agroekologie – Ekologické zemědělství
Téma práce: Pěstování *Silphium perfoliatum* L. pro účely produkce bioplynu
Zadávající katedra: Katedra agroekosystémů

Zásady pro vypracování

Cíl práce: Posouzení vhodnosti *Silphium perfoliatum* L. pro účely produkce bioplynu na základě zkoušek výtěžnosti bioplynu

1. Úvodní část – úvod do problematiky (rozsah 1 strana, bez literárních odkazů)
2. Literární přehled – sestavit literární přehled shrnující aktuální problematiku pěstování mužáku prorostlého (*Silphium perfoliatum* L.) (rozsah cca 50 % textové části DP)
3. Cíl práce a definice pracovních hypotéz (doporučený rozsah 1 strana)
4. Metodická část – podílet se na ošetřování porostů mužáku prorostlého (*Silphium perfoliatum* L.) v rámci polních pokusů, podílet se sběru dat, studium doporučené literatury a zpracování rešeršní části práce, zpracování a analýza vzorků dle dostupných metod
5. Výsledková a diskusní část – zpracování experimentálních dat, posouzení vhodnosti mužáku prorostlého (*Silphium perfoliatum* L.) pro účely produkce bioplynu na základě získaných dat, vyhodnocení výsledků práce a srovnání výsledků s údaji dostupnými v literatuře (rozsah cca 50 % textové části DP)
6. Závěrečná část práce – shrnutí hlavních výsledků práce (doporučený rozsah 1-2 strany, bez citací)
7. Seznam citované literatury (minimálně 1/3 literárních pramenů ze zahraničních zdrojů – vědecké časopisy, knihy)

Rozsah pracovní zprávy: 40-50 stran včetně příloh
Rozsah grafických prací: dle potřeby (tabulky, grafy, fotografická příloha)
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam doporučené literatury:

- 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).
- 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.
- 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
- Ochodek, T., Koloničný, J., & Janásek, P. (2006). Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy. ISBN: 80, 248-1207.
- Slepetyš, J., Kadziulienė, 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).
- 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).
- Tabatabaei, M., & Ghanavati, H. (Eds.). (2018). *Biogas: Fundamentals, Process, and Operation* (Vol. 6). Springer. 472 p., ISBN: 978-3-319-77334-6
- Usták, 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:

Organic eprints
SCOPUS
Scholar.google
WoS

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jaroslav Bernas, Ph.D.**
Katedra agroekosystémů

Datum zadání diplomové práce: **15. února 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **15. dubna 2020**

V Českých Budějovicích dne 11. března 2019



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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 1698, 370 05 České Budějovice

L.S.



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

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 diplomové 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

2020

.....
David Malina

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval Ing. Jaroslavu Bernasovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce. Velice si vážím cenných rad, poznatků a především bohatých informací, z kterých mimo jiné v této práci čerpám.

Abstrakt

Cílené pěstování rostlin pro účely produkce bioplynu je stále velmi diskutovaným tématem. V tomto ohledu se dnes využívá především *Zea Mays* L. Pěstování této rostliny s sebou však nese určitá environmentální rizika. Jednou z možností, jak tyto rizika eliminovat či alespoň částečně zmírnit, je pěstování alternativních rostlin. Jednou z alternativních rostlin, hojně se využívající právě v energetice, je i *Silphium perfoliatum* L. Tato práce je založena na posouzení vhodnosti mužáku prorostlého pro účely produkce bioplynu a možností jeho zařazení do silážních mixů bez snížení produkce bioplynu. V rámci diplomové práce byly posuzovány vzorky sušiny ze siláže kukuřice seté a mužáku prorostlého a jejich různé poměry z hlediska produkce bioplynu. Byla využita metoda měření skutečné výtěžnosti bioplynu. Cílem práce bylo optimalizovat poměr posuzovaných silážních vzorků z hlediska tvorby bioplynu tak, aby nedošlo ke snížení produkce bioplynu. Dle výsledků práce pak lze doporučit silážní mix odpovídající poměru 70 % kukuřice setá: 30 % mužák prorostlý.

Klíčová slova: *Silphium perfoliatum* L., *Zea mays* L., bioplyn, metan, fytomasa

Abstract

Targeted plant cultivation for biogas production is still a much-discussed topic. In this respect, it seems possible today. Mays L. Growing these plants with people who certainly do not affect the environment. One way to eliminate or reduce these risks is to grow alternative plants. One of the alternative plants, widely used in energy, is also *Silphium perfoliatum* L. This work is suitable for assessing the suitability of male prograss for biogas production and the possibility of inclusion in silage mixes without limiting biogas production. Within the diploma thesis, it was assessed whether they are dried from corn silage and male progeny and their different ratios in terms of biogas production. A method for measuring the safe biogas yield was used. The aim of the work was to optimize the evaluation of the assessed silage samples in terms of biogas production in order to reduce biogas production. According to the results of the work, it is then possible to recommend a silage mixing ratio of 70% sown corn: 30% cup plant sown.

Key words: *Silphium perfoliatum* L., *Zea mays* L., biogas, methane, phytomass

Obsah

.....	2
Prohlášení.....	4
Poděkování.....	5
Abstrakt.....	6
Úvod.....	9
1 Literární přehled.....	10
1.1 Pěstování energetických rostlin.....	10
1.1.1 Jednoleté energetické rostliny.....	12
1.1.2 Víceleté rostliny, vytrvalé rostliny a trvalé travní porosty.....	12
1.2 Environmentální aspekty pěstování energetických rostlin.....	13
1.3 Pěstování kukuřice seté (<i>Zea mays</i> L.) pro účely BPS.....	14
1.4 Mužák prorostlý (<i>Silphium perfoliatum</i> L.).....	17
1.4.1 Popis rostliny.....	18
1.4.2 Vlastnosti rostliny.....	18
1.4.3 Nároky na stanoviště.....	19
1.5 Bioplyn.....	20
1.6 Bioplynové stanice.....	22
2 Cíl diplomové práce.....	26
2.1 Hypotézy.....	26
3 Materiál a metodiky.....	27
3.1 Lokalita.....	27
3.2 Porost.....	27
3.3 Stanovení výtěžnosti bioplynu.....	28
4 Výsledky a diskuze.....	30
4.1 Sklizeň.....	30
4.1.1 Výnosy fytomasy.....	30

4.2	Analýza vzorků.....	32
	33
5	Závěr.....	44
6	Seznam literatury.....	46
7	Přílohy	54

Úvod

V dnešní době tvoří fosilní paliva dominantní složku energetické spotřeby. Z důvodu její vyčerpatelnosti a negativním vlivům na životní prostředí je proto důležité hledat cesty, jak tyto zdroje nahradit. Velmi perspektivní v tomto odvětví je produkce bioplynu cíleně tvořeného pro energetické účely v bioplynových stanicích. V současné době se na území České republiky nachází přibližně 400 zemědělských bioplynových stanic a každým rokem jejich počet roste. Vyrůstající počet těchto stanic se však netýká pouze území našeho státu. V rámci Evropské unie dosahuje celkový počet bioplynových stanic téměř 18 tisíc, z nichž největší zastoupení mají, stejně jako v České republice, zemědělské bioplynové stanice. Nejdůležitějším faktorem pro tvorbu bioplynu v bioplynových stanicích má bezpochyby vstupní materiál. Na našem území se v rámci cíleného pěstování rostlin pro účely produkce bioplynu využívá především kukuřice setá (*Zea mays* L.). Pěstování této rostliny, a širokořádkových plodin obecně, s sebou však nese řadu environmentálních rizik. Jedním z nejzávažnějších je půdní eroze či zhutnění půd. Množství erozně ohrožených půd je odhadováno na více než 50 % veškeré orné půdy. Způsobují ho též chudé osevní postupy či nevhodné agrotechnické zásahy a jejich způsoby. Jako jedním z možných řešení se nabízí zajistit druhovou pestrost a to rostlinami, které jsou méně známé a označujeme je jako alternativní. Najdeme mezi nimi druhy jednoleté, víceleté či vytrvalé. Z environmentálního hlediska je daleko šetrnější pěstování víceletých či vytrvalých druhů rostlin. Mezi vytrvalé druhy rostlin patří například ozdobnice čínská (*Miscanthus*), chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea* L.), krmný šťovík (*Rumex*) aj. Existuje však i mnoho dalších plodin, které lze pro tvorbu bioplynu použít a díky tomu tak částečně zmírnit negativní dopady na zemědělství. Jako jednou z nejvhodnějších alternativ se jeví pěstování vytrvalé byliny *Silphium perfoliatum* L. Tato rostlina nachází svá uplatnění především při využití v bioplynových stanicích jako vstupní materiál. Do podvědomí zemědělců se dostala především díky vyrůstajícímu zájmu biologické rozmanitosti v agroekosystémech. Tato žlutě kvetoucí rostlina s velkým výnosem fytomasy vykazuje velice slibný produkční potenciál. *Silphium perfoliatum* L. se vyrovnává produkčně kukuřici seté a vzhledem k vytrvalému charakteru a nízkým nárokům na ošetření, nese i řadu environmentálních benefitů.

1 Literární přehled

1.1 Pěstování energetických rostlin

Ve střední Evropě představuje biomasa jeden z nejdůležitějších obnovitelných zdrojů energie (dále jen OZE). Výroba energie z těchto zdrojů v rámci Evropské unie by měla do roku 2020 dosáhnout 20 % (Barbosa et al., 2014). I vzhledem k tomu, že lze tento druh obnovitelného zdroje využít pro různé formy energie, představuje značně nevyužitý potenciál. Její využití najdeme převážně pro výrobu elektrické energie, výrobu tepla (či kombinovaná výroba) a v neposlední řadě i pro výrobu pohonných hmot (Koloničný, 2011). Pro energetické účely je možné využít hned několik druhů rostlin (Pastorek et al., 2004). Biomasu lze snadno skladovat v porovnání s větrnou či solární energií. Biomasa představuje důležitý nástroj nejen pro snižování emisí skleníkových plynů, ale i pro zvyšování podílu obnovitelných zdrojů na spotřebě primárních energetických zdrojů a snižování závislosti na dovozu primárních energetických zdrojů z oblastí mimo EU (Koloničný, 2011).

Využití biomasy k energetickým účelům je limitováno několika faktory. Zde uvádím některé z nich:

- Produkce biomasy v rámci energetiky konkuruje i dalším způsobům jejího využití, jako je např. krmivářské či potravinářské účely, zajišťování surovin pro průmyslové účely a v neposlední řadě i uplatnění mimoprodukční funkce biomasy
- Se zvyšováním produkce biomasy roste samozřejmě i potřeba rozšíření produkčních ploch nebo zvyšování intenzity její výroby, což má za následek zvýšení investic do výroby biomasy
- Získávání energie z biomasy v dnešní době a současných podmínkách obtížně ekonomicky konkuruje využití klasických energetických zdrojů
- Maximální využití zdrojů biomasy k energetickým účelům je obecně problematické vzhledem k rozmístění zdrojů biomasy a spotřebičů energie (vzhledem k potížím s akumulací, distribucí a transportem získané energie)
- a další

Využití tohoto zdroje energie má však samozřejmě i nesporné výhody, jako jsou např.:

- Snížení negativních dopadů na životní prostředí
- Zdroj vzniklé energie má obnovitelný charakter
- Jelikož se jedná o tuzemský zdroj energie, snižují se tak spotřeba zdrojů dovážených
- Zdroje biomasy nejsou lokálně omezeny
- Lze účelně využít spalitelné a někdy i dokonce toxické odpady
- a další

(Pastorek et al., 2004)

Výrobní cíle pěstování energetických plodin se dají obecně rozdělit následovně: produkce oleje jako paliva, oleje jako maziva pro hydraulická zařízení, biomasy pro využití na energii, bioplynu, produkce pro pyrolýzu, využití vodíku. Procesy při zpracování fytomasy na energetické využití se dají obecně rozdělit dále na suchou a mokrou cestu. Při suchá cestě, tedy kdy je vlhkost biomasy pod 50 %, dochází ke spalování nebo zplyňování rostlinné hmoty. V případě tzv. mokré cesty, tedy kdy je vlhkost biomasy vyšší než 50 %, probíhá anaerobní fermentace pomocí speciálních bakterií bez přístupu vzduchu, při které se uvolňuje metan jako zplodina metabolismu, který se využívá pro sdruženou výrobu elektrické energie a tepla – kogeneraci. Z mnoha způsobů využití biomasy k energetickým účelům je zatím nejvýznamnější její spalování, výroba bioplynu, případně výroba metylesteru. K energetickým účelům lze využít v ČR odhadem kolem 8 mil. tun biomasy (Pastorek et al., 2004). V České republice je navíc díky přírodním podmínkám biomasa bezesporu jedním z nejvýznamnějších obnovitelných zdrojů energie (Libra a Poulek, 2007). V první řadě je třeba lépe využívat stávající převažující zdroje biomasy (dřevo, trávu, slámu). Vedle stávajících zdrojů surovin a energie je třeba zavádět pěstování tzv. energetických plodin, a to i z důvodu nedostatku lesní odpadní biomasy. Zejména v marginálních oblastech, které budou v budoucnu vyčleňovány z potravinářské produkce (Pastorek et al., 2004). Biomasa je v podmínkách ČR hlavním alternativním zdrojem energie. Nízká plošná hustota dostupnosti biomasy a lokální charakter ji dělá vhodným zdrojem pro výrobu energie v malých a středních zařízeních. Bohužel, vyšší cena biomasy a nedostupnost technologií vhodných pro

výrobu energie v malých a středních zdrojích není tento potenciál stále dostatečně využitým. Transformace energie obsažená v biomase prostřednictvím zplyňování a následného vysokoteplotního čištění je technologií vhodnou pro využití obrovského potenciálu biomasy. Jak pro přímou výrobu elektrické energie v malých a středních zdrojích, tak i pro další výrobu náhradních plynných a kapalných paliv (Skoblia, 2006). Fytomasa energetických rostlin je univerzální zdroj energie, díky němuž lze produkovat jak teplo a elektřinu, tak i paliva v plynném, pevném i kapalném stavu (Knápek et al., 2010). Ačkoliv energetické rostliny (jako obnovitelný zdroj energie) nabízejí řadu výhod oproti fosilním palivům, je zapotřebí determinovat dopady na všechny složky životního prostředí, jež může způsobovat jejich pěstování (Saidur et al., 2011).

1.1.1 Jednoleté energetické rostliny

Jedná se většinou o kulturní rostliny, které je možné taktéž využívat pro fytoenergetické účely. Existují však i nekulturní (plevelné) druhy jednoletých rostlin produkující velké množství biomasy, díky čemuž jsou perspektivní pro fytoenergetické využití (například lebeda, merlík, atd.) (Ust'ak, 2006). Předností pěstování jednoletých druhů energetických rostlin je především v tom, že bývají určeny pro rychlou produkci. Veškeré agrotechnické operace jsou prováděny pomocí běžné zemědělské techniky, což není možné ve všech případech u rostlin vytrvalých. U jednoletých rostlin bývá poměr získané a vložené energie obvykle 2:1 (Weger et al., 2012). Typickými zástupci jednoletých energetických rostlin pěstované v ČR jsou kukuřice nebo čirok. Tyto druhy jsou používány jako vstupní suroviny při výrobě bioplynu. Jako nejčastěji používaná surovina v zemědělských bioplynových stanicích je směs kukuřice a kejdy (Janouchová, 2012).

1.1.2 Víceleté rostliny, vytrvalé rostliny a trvalé travní porosty

Z energetického a ekonomického hlediska bývá daleko efektivnější pěstování víceletých a vytrvalých rostlin (pokud se nejedná o vedlejší produkt jednoletých plodin, jako je například sláma olejnin či obilnin). Díky pěstování vytrvalých, a velmi často i netradičních, rostlin lze poměrně efektivně snižovat celkové náklady na produkci biomasy a zásadně tím zvyšovat poměr energie získané a vložené (Pastorek et al., 2004). Náklady na pěstování těchto druhů rostlin tak mohou být mnohem vyšší než právě u tradičních plodin. Celkové náklady však v následujících letech klesají a to díky odpadajícím nákladům na zpracování půdy, setí, hnojení,

chemickou ochranu apod. (Havlíčková a kol., 2007). U víceletých rostlin je předpoklad, že po fázi delšího rozrůstání poskytne rostlina vyšší výnosy než rostliny jednoleté (Moudrý, Stražil, 1998). Celková energetická rentabilita je většinou u víceletých rostlin lepší. Poměr získané a vložené energie může být podle výnosu až 10:1 (Weger et al., 2012). Za rozhodující faktor při výběru vhodné pěstované rostliny je považována energetická bilance (Jasinskas et al., 2008). V České republice představují plochy trvale travních porostů (dále jen TTP) zhruba 1 mil. hektarů (CUZK, 2020). Produkční potenciál TTP se odvíjí od velkého množství faktorů, kterými jsou geologicko-petrografické podmínky, půdní typ a půdní druh, nadmořská výška, teplota, srážky, expozice pozemku, hladina spodní vody aj. Roční výnosy se proto pohybují v širokém rozpětí, a to od 2 do 16 t ha⁻¹ suché hmoty. V současnosti (především při extenzivním využití) dosahuje průměrný roční výnos biomasy kolem 3 tun sušiny z hektaru. Travní hmoty z TTP jsou využívány především jako krmivo skotu. V důsledku velkého poklesu stavu skotu (až o 50 %) v několika posledních letech dochází k přebytkům fytomasy z těchto ploch, což snižuje zájem o jejich obhospodařování. Nevhodný způsob obhospodařování těchto ploch může do budoucna vést k postupné degradaci – změnám půdní úrodnosti, erozi, zaplevelování, bilanci vodního režimu apod. Vedle své produkční funkce plní však TTP i celou řadu dalších významných mimoprodukčních funkcí. Mimoprodukční funkce TTP mají zásadní význam v ochraně životního prostředí a ekologické stability krajiny a postupně budou dále nabývat na významu nad funkcemi produkčními. (Lhotský a Kajan, 2011).

1.2 Environmentální aspekty pěstování energetických rostlin

Díky pěstování energetických rostlin jako OZE dochází úspěšně k redukování produkce CO₂ a dalších znečišťujících látek. Dále se snižuje závislost na importovaných zdrojích primární energie, rozvíjí se pracovní příležitosti v zemědělsky méně příznivých oblastech (Knápek et al., 2010). Pěstování tzv. energetických rostlin s sebou nese řadu významných environmentálních benefitů, které se podílejí například na redukcii antropogenních emisí. Tyto klady pak přispívají ke zmírnění projevu klimatických změn a celkový pozitivní vliv na životní prostředí (Součková a Moudrý 2006, Cherubini et al., 2011). Mimo jiné má i obrovský potenciál pro snížení projevů globálního oteplování (Scheer, 2007). V energetické využití lze použít také odpadní travní fytomasu z úhorů, TTP či

z porostů cíleně pěstovaných trav. Tyto druhy trav se pěstují jako travní směs nebo monokultury. Za účelem produkce bioplynu se jako výhodnější jeví monokulturní pěstování, kde je výnosový potenciál 8-9x vyšší než ze spontánních úhorů. Z fytopatologického hlediska jsou pro tyto druhy rostlin doporučovány oblasti s vyšším výskytem viróz zjištěných na obilninách z důvodu případného dalšího rozšiřování chorob (Středa a Stražil, 2014). Dalším pozitivním přínosem, který s sebou nese pěstování energetických rostlin, je pěstování především víceletých až vytrvalých druhů rostlin, a to z důvodu jejich dlouhého životního cyklu (Lewandowski et al., 2000). Mezi další výhody pěstování víceletých či vytrvalých rostlin je i v jejich pokryvnosti půdy. Zabezpečují tak ochranu půdy jak před vodní, tak i větrnou erozí a sekvestrací oxidu uhličitého (Paustian et al., 1998). Rostliny, pěstované pro tyto účely, by měly prokazovat vysoký energetický a výnosový potenciál, společně s minimálními environmentálními dopady (Boehmel et al., 2008). Energetické rostliny jsou univerzálním zdrojem energie. Jejím prostřednictvím lze produkovat nejen teplo, ale i elektřinu a paliva v plynném a kapalném stavu (Knápek et al., 2010). I přes prokazatelné výhody pěstování energetických rostlin oproti fosilním palivům, je však zapotřebí determinovat dopady na všechny složky životního prostředí, které mohou být jejich pěstováním dotčeny (Saidur et al., 2011). Plocha, která by byla vymezena pro pěstování energetických druhů rostlin, vychází především z výnosového potenciálu, typu využívané technologie a v neposlední řadě také intenzity produkce (Boehmel et al., 2008). Důležitým faktorem je i výběr oblasti, ve které se energetické rostliny pěstují. Tyto rostliny totiž mohou konkurovat plodinám na orné půdě zajišťující potravu. Je proto vhodnou volbou tyto rostliny pěstovat v marginálních oblastech nebo na nízkoprodukčních půdách, které tak mohou být využitelné pro pěstování průmyslových plodin (von Cossel, 2020). Na efektivnost zemědělství poukazuje hodnocení přímé spotřeby energie. Účelem tohoto hodnocení je identifikovat existující rezervy a optimalizovat energetické vklady do výrobního procesu. To vše s cílem dosažení maximálního výrobního efektu při nízké spotřebě energie. V oblasti fytoenergetiky je snaha o co největší efektivitu při produkci a získávání energie z fytomasy (Středa a Stražil, 2014).

1.3 Pěstování kukuřice seté (*Zea mays* L.) pro účely BPS

Kukuřice má ze všech našich kulturních rostlin nejvyšší výnosový potenciál. Stala se modelovou rostlinou pro systémový přístup jejího pěstování. Pro tuto plodinu

se zároveň vyvinuly a technologicky optimalizovaly systémy pěstování, sklizně, konzervace i přepravy. Zemědělské podniky jsou dnes většinou už automaticky vybaveny veškerou mechanizací, která je zapotřebí pro produkci kukuřice jak na zrno (bioetanol), tak k silážování (bioplyn) (Zimolka, 2008). Jedná se o plodinu, která má svými požadavky na agrotechnické operace a hnojení charakter okopaniny. Přestože se jedná o obilninu (obilnina 2. skupiny), využívá se jako přerušovač obilných sledů v osevních postupech. Pěstování po sobě je v případě této plodiny možné. Mezi nejvhodnější předplodiny se řadí jeteloviny, okopaniny či víceleté pícniny (ty zejména ve vláhově příznivých oblastech). Vhodná obilnina, jako předplodina, se v tomto případě jeví pšenice. Kukuřice samotná, jako předplodina, je vhodná pouze pro jařiny. Z důvodu vysoké pravděpodobnosti výskytu klasových fusarióz, na následných obilninách, není jako předplodina vhodná (Novák a Vrzal, 1995). V roce 1990 se na našem území pěstovala kukuřice zhruba na 420 tisících hektarech. V následujících letech tato plocha vykazovala sestupnou tendenci (Honsová, 2013). V roce 2018 byla sklizňová plocha kukuřice v České republice 306 tisíc hektarů. Z celkové této plochy připadalo cca 82 tis. hektarů kukuřici na zrno a zhruba 224 tis. hektarů kukuřice na zeleno a siláž (MZe, 2019). U kukuřice, která je pěstována ve velké míře jako monokultura, přispívá tímto způsobem k celkové degradaci půdy. Způsobem jejího pěstování se navíc snižují výnosy biomasy a zvyšují cenu obilí na trhu (Jankowski et al., 2020). Udržitelným systémem pěstování této plodiny je však právě při prodlouženém střídání v osevních postupech. Její zařazení během střídání plodin je vhodné především po leguminózách, kvůli zvyšování úrovně dusíku v půdě (Barbosa et al., 2014). Význam této plodiny spočívá především ve vysokém nárůstu fytomasy a technologicky poměrně nenáročných pěstebních postupech. V rámci našeho území se vysévá přibližně 200 tisíc hektarů kukuřice na siláž. Její energetický potenciál se pohybuje kolem 324 tisíc MJ ha⁻¹ (Lhotský a Kajan, 2011). Pro fytoenergetické účely lze úspěšně využívat také kukuřičnou slámu (při pěstování kukuřice na zrno). Sklizeň pro tyto účely se provádí při plné zralosti, kdy je rostlina dobře vyschlá. Tuto slámu pak lze rozřezat na hrubou řezanku a následně využít k přímému spalování podobně jako dřevní štěpku. Za stejným účelem lze využít také kukuřičná vřetena po vymláčení zrna (Petříková, 1999). V posledních letech většina zemí Evropské unie zintenzivnila pěstování zemědělských plodin pro výrobu bioplynu. Tento fakt je spojen především s podporou využívání obnovitelných zdrojů energie. Díky této podpoře dosáhla

kukuřice obrovské expanze a nyní pokrývá zhruba 3/4 evropské produkce biomasy pro účely výroby bioplynu (Ust'ak a Munoz, 2018). Pěstování kukuřice, jakožto širokořádkové plodiny, má však velký podíl na vytváření vodní eroze a představuje tak zvýšené nebezpečí (Petříková, 2012). Tím, že kukuřice netvoří drnový porost, jsou tak podmínky na povrchu půdy příznivé pro odnos zeminy z pozemku při přívalových srážkách. Zařazení vysokého podílu kukuřice v osevním postupu tak není vhodné ani z důvodu bilance a kvality organické hmoty v půdě. Mimo jiné voda odtékající z kukuřičného pole obsahuje velké množství nevyužitých živin, které zatěžují vodoteče, způsobují eutrofizaci, a tím zhoršují stav povrchových vod v České republice (Lhotský a Kajan, 2011). Obilky kukuřice obsahují 70 % škrobu, 12 % dusíkatých látek a 8% tuku., vysoký obsah vitamínu E a minerálních látek. V následující tabulce je uvedeno podrobnější chemické složení zrna kukuřice seté.

Tabulka 1 - Chemické složení zrna kukuřice (%) (Diviš et al., 2010)

	Škrob	Cukry	Vláknina	Bílkoviny
Vosková zralost	71,8	3,22	1,7	11,61
Technická zralost	71,6	3,07	1,7	11,59

Celkově došlo k rozvoji pěstování energetických plodin díky narůstajícímu počtu bioplynových stanic (Bouchner, 2015). Se stále se zvyšujícím počtem stanic stoupá i poptávka po vhodných substrátech. Nejpoužívanějším vstupním materiálem je v dnešní době bezesporu kukuřičná siláž. V rámci fytoenergetiky lze předpokládat, že nejrozšířenější bude i nadále. Rostoucí počet bioplynových stanic by navíc znamenal i zvýšení pěstební plochy kukuřice seté (Procházka et al., 2013). Pro účely BPS je velmi důležité správný výběr druhu kukuřice nebo jejího hybridu. Nejdůležitější požadavky při výběru konkrétní odrůdy jsou:

- **výkonost** - výběr druhu s co nejvyšším výnosovým potenciálem hmoty siláže z hektaru - vyšší výnos metanu
- **stabilita výnosu** - dobrý zdravotní stav rostlin, tolerance vůči přísušku, rychlý vzrůst a ročníková stabilita

- **ranost** - je třeba volit tak, aby byl dosažitelný obsah sušiny minimálně 25 %
- **nutriční požadavky** – rozdíl mezi kukuřicí pro výživu zvířat a využitím v BPS – méně škrobu – více vlákniny (Procházka et al., 2013).

Agrotechnika a technologické postupy při konzervaci kukuřice pro zpracování hmoty v zařízení na výrobu bioplynu se prakticky neliší od požadavků konzervace kukuřice pro krmné účely (Váňa, 2007). Současná výroba bioplynu v zemědělských bioplynových stanicích stojí převážně na využívání právě kukuřice, která se v dnešní době úspěšně šlechtí na odrůdy s vysokými výnosy nadzemní biomasy přímo pro účely bioplynových stanic. Z tohoto důvodu je zařazování kukuřičné siláže, jako substrátu pro BPS, vedle hnoje či kejdy spolehlivé a v dnešní době velice oblíbené. V poslední době však zemědělci naráží na rizika spojená s pěstováním této plodiny. Jednak je pěstování kukuřice čím dál dražší a prostor pro její pěstování je již dva roky značně omezen. Po novelizaci zákona nelze kukuřici pěstovat na svazích větších, než je 7°. Dřívější legislativa dovozovala kukuřici pěstovat do 13° (Petříková, 2012).

1.4 Mužák prorostlý (*Silphium perfoliatum* L.)

Snižování pestrosti osevních postupů v posledních letech negativně dopadá na kvalitu zemědělské půdy. Důsledkem je poté zvyšování půdní eroze a její zhutnění. Dále dochází k degradaci půdní organické hmoty a celkovému snížení půdní úrodnosti. Z těchto důvodů je zapotřebí, aby docházelo k zavádění nových udržitelných technologií, díky kterým by negativní dopady eliminovaly. Jednou z cest, jak tomu zabránit je pěstování alternativních rostlin, které u nás nejsou tolik známé, a díky kterým obohatíme osevní postupy. Možným řešením, z celé řady jiných, je i pěstování, u nás poměrně neznámé, plodiny mužáku prorostlého. Tato rostlina v sobě skrývá již několik let veliký potenciál, a to nejen v energetice, ale i v krmivářství (Ust'ak, 2012). Je však důležité zmínit, že s sebou přináší i určitá ekonomická rizika. Výsadba mužáku prorostlého se pohybuje kolem necelých 5 tis. euro/ha (Biertümpfel et al., 2013). Z tohoto důvodu je zřejmě jeho pěstování v nejbližší době velmi málo pravděpodobné. Jedním z řešení by mohla být podpora státu. Z ekonomického hlediska je důležité porovnávat náklady spojené s pěstováním a výnosové a energetické aspekty. Existuje několik faktorů, které ovlivňují pěstování

mužáku, jako je například půdní druh, způsob využití a účel, doprava, možnost sklizně apod. (Havlů, 2008).

1.4.1 Popis rostliny

Mužák prorostlý je žlutě kvetoucí bylina patřící do čeledi hvězdnicovité (*Asteraceae*) (Weger et al., 2012). Na první pohled je patrný připomínající vzhled jiné, u nás daleko známější, rostlině, a to slunečnici roční (*Helianthus annuus* L.), která stejně jako mužák patří do čeledi hvězdnicovité. V klimatických podmínkách České republiky dosahuje porost výšky 220-340 cm. Stonky jsou duté, přímé, silné a až osmihranné. Listy mužáku jsou tmavě zelené, ozubené, vejčité kopinaté a okraje listové destičky ozubené. Listy jsou dlouhé až 30 cm a široké 13-15 cm. Horní listy jsou bez řapíku, nasedající přímo na stonek, který prorůstá skrze listy, díky čemuž je i odvozen název této rostliny, tedy prorostlý (Ust'ak, 2012). Celkové množství stonků se zvyšuje stářím rostliny a jejich počet se pohybuje v rozmezí od 10 do 25 ks (Matthews et al., 2015). Každá rostlina dokáže vyprodukovat cca 20-30 semen. Velikost semen je zhruba 9-15 mm na délku a 6-9 mm na šířku. Celkově je tvar velmi zploštělý a tloušťka semen není větší než 1 mm. HTS u mužáku prorostlého činí zhruba 23 g (Jucor a Sumalan, 2018). Narozdíl od ostatních energetických plodin se mužák liší svou ekologickou hodnotou. V porovnání právě s kukuřicí má mužák daleko nižší pěstební požadavky a vysoké výtěžky biomasy a bioplynu, čímž je předurčen k pěstování za účelem produkce bioplynu (Gansberger et al., 2015). Mužák prorostlý se řadí mezi vytrvalé byliny, které na jednom stanovišti, jestliže jsou porosty dobře založeny, vydrží růst až 25 let. Pěstování zajistí nejen vysokou produkci fytohmoty, ale zároveň i efektivně zvýšit protierozní stabilitu (Ust'ak, 2012). Svými pozitivními přínosy pro úrodnost půdy může být použit i pro rekultivaci degradované půdy (Gansberger et al., 2015).

1.4.2 Vlastnosti rostliny

Mužák prorostlý, mimo jiné, přispívá také k ochraně půdy, podnebí i vody. Vzhledem k jeho celoročnímu pokrytí půdy na několik let je značně redukováno riziko vzniku vodní eroze a vyluhování či vyplavování živin. Tato vlastnost je u ročních energetických plodin naopak poměrně běžná. Mužák také podporuje tvorbu půdy a využívá procesu tzv. sekvestrace uhlíku, což následně vede k lepší úrodnosti půdy a udržování rovnováhy skleníkových plynů (Gansberger et al., 2015). Invazní potenciál mužáku prorostlého je poměrně nízký. Má relativně pomalejší vývoj během

počátečních fází růstu a neumožňuje formaci hlubších oddenků (Haag et al., 2015). Z hlediska ochrany proti chorobám a škůdcům nepředstavuje velké riziko. Možným zapelevelením může být mužák ohrožen v roce výsevu. V dalších letech ale dochází k zahuštění porostu a plevelné druhy rostlin jsou tak potlačeny (Weger et al., 2012). Jelikož se jedná o jednu z vysokoprodukčních bylin, které výborně a bezodkladně obrůstají po sečení, předurčuje využívat tuto energetickou plodinu pro bioplyn. Díky obrůstání je tak možné provádět vícesečné sklizně na zelenou hmotu. Z ekonomických důvodů se seče obvykle omezují na 2-3 za rok (Ušťak, 2012). Nektar a pyl mužáku je vhodný jako zdroj potravy pro včely či jiné opylovače, na rozdíl od jiných, nekvetoucích, druhů rostlin (Gansberger et al., 2015). Díky dlouhé fázi kvetení lze získat nemalé množství medu. Ušťak (2012) uvádí zisk medu z jednoho hektaru až 150 kg. Dochází tak k podpoře zdraví včelstva a v neposlední řadě i obohacení struktury zemědělské půdy (Gansberger et al., 2015). Zajímavou vlastností jsou i jeho léčebné účinky. Již severoamerické indiánské kmeny používaly různé orgány mužáku pro léčebné účely. Například kořen této rostliny má antireumatické, antiemetické, analgetické, tonické a diaforetické účinky. Dále může být použitý jako léčebný prostředek při gynekologických onemocnění, léčbě sleziny, léčbě jater a vředů, nachlazení, horečky atd. (Kowalski a Kedzia, 2008).

1.4.3 Nároky na stanoviště

Přirozené podmínky pro výskyt mužáku prorostlého jsou nejčastěji nízké lesy, prairie, louky, podél toků řek a železničních tratí (Weger et al., 2012). Vzhledem k přirozenému výskytu této rostliny na místech s vyšší půdní i vzdušnou vlhkostí, může být mužák nalezen rovněž ve vlhčích či záplavových oblastech. Zejména podél říčních údolí, jezer, roklí či břehů (Gansberger et al., 2015). Nadměrná vlhkost může způsobovat bylině naopak velké škody. Vysoká hladina půdní vody totiž může způsobit uhnívání kořínků (Weger et al., 2012). Hydromorfní půdy jsou tedy u této rostliny zcela nežádoucí (Gansberger et al., 2015). K občasným přísuškům je ale rostlina poměrně tolerantní (Weger et al., 2012). Díky uspořádání a tvaru listů dokáže zadržet a následně odpařovat dešťovou vodu, což rostlině umožní překonat období sucha (Bauböck, 2014). Rozhodujícím faktorem při výběru lokality je především kvalita půdy. Zejména obsah minerálních látek a její kyselost. Pro dosažení efektivních produkčních schopností je vhodné tuto rostlinu pěstovat na půdách s hlubokou orníční vrstvou, bohatou na živiny a zásobou humusu.

K nižším výnosům tedy dochází u rostliny na půdách chudých, výsušných a mělkých. I když mužák prorostlý není na půdní reakci nijak zvlášť citlivý, vyhovují mu téměř neutrální, až mírně alkalické půdy (Ust'ak, 2012). Své stanoviště si tato rostlina najde i na méně využitelných pozemcích. Půdy degradované či jinak postižené antropogenní činností mohou být využity pro pěstování mužáku. Zapotřebí je však v těchto oblastech vydatného organického hnojení. V oblastech méně příznivých pro produkci kukuřice či vojtěšky, je tedy využití mužáku prorostlého naopak vhodnou variantou (Albrecht & Goldstein, 1997). Z hlediska evropských klimatických podmínek je mužák poměrně přizpůsobivý (Matthews et al., 2015). Optimální teploty pro správný růst se pohybují okolo 20 °C (Stanford, 1990). Pěstování u nás, tedy v mírném klimatickém pásmu, je pro tuto energetickou rostlinu ideální, jelikož je odolná vůči vymrzání a vyžaduje vhodné vlhkostní poměry. Jako ideální se jeví svahy orientující se především na jih či jihozápad. Zároveň je ale mužák poměrně náchylný k zastínění. Vyžaduje proto raději slunná místa (Ust'ak, 2012). Naopak během dormance dokáže mužák přežít i teploty mrazu dosahující až -30 °C. Z hlediska odolnosti vůči teplotním extrémům hovoří i schopnost vypořádat se se záplavami (Stanford, 1990). Pokud jde o požadavky na vodu, minimální množství pro potřeby rostliny se pohybují zhruba okolo 400-500 mm/rok, kde 200-250 mm je zapotřebí během vegetace. Tyto potřeby jsou velmi obdobné i u kukuřice (Gansberger et al., 2015).

1.5 Bioplyn

Až do padesátých let zdrojům energie nebyla věnována přílišná pozornost. Bylo předpokládáno, že jejich zásoby jsou v podstatě nevyčerpatelné. Celosvětový postoj řady odborníků a lidí z praxe byl takový, že v rámci energetiky půjde pouze o odklon od uhlí k ropě a zemnímu plynu. Za prvních šedesát let minulého století byl však nárůst spotřebované energie natolik velký, že bylo zapotřebí alespoň uvažovat o jiných zdrojích energie, které by tak v budoucnu pomohly pokrýt stále vzrůstající spotřebu (Vráblíková, 1999). Význam obnovitelných zdrojů energie se v posledních letech neustále zvyšuje. Ceny fosilních paliv rostou a zásoby klesají. Nastává tedy otázka, jak nahradit alespoň část fosilních paliv šetrnějšími způsoby. Jedna z možností je právě bioplyn (Brandejsová a Příbyla, 2009). Bioplyn a veškeré systémy, které se s ním pojí, přináší velice pozitivní přínos v energetickém průmyslu. Jedním z hlavních důvodů, proč tomu tak je, je jeho šetrnost k životnímu prostředí.

V porovnání s fosilními palivy je ovšem bioplyn pouze minoritním zdrojem a v nejbližší době tomu zřejmě nebude jinak. Do povědomí laické veřejnosti se však termín bioplyn dostává čím dál více. K tvorbě bioplynu může docházet výhradně za specifických podmínek, které splňují potřebné parametry (Kratochvílová a kol., 2009). Už z názvu bioplyn je patrné, že se jedná o látku, která vzniká při biologickém procesu. Jde o směs plynů vytvořených za nepřístupu kyslíku, tedy za anaerobních podmínek. S procesem vzniku bioplynu se však nemusíme setkat pouze při záměrné produkci bioplynu. Tento plyn vzniká například i v jímce s kejdou, na dně jezer či v batoru přežvýkavců (Kaletová, 2011). Biologický rozklad organických látek je velice složitý vícestupňový proces. Na konci tohoto procesu, působením metanogenních, acetotrofních a hydrogenotrofních mikroorganismů, vzniká bioplyn. Vzniklá látka, tedy bioplyn, se v ideálním případě skládá ze dvou plynných složek – metanu (CH_4) a oxidu uhličitého (CO_2) (Pastorek et al., 2004). Největší zastoupení v celé směsi má metan, který je zároveň i jeho nejcennější složkou, neboť určuje energetický obsah bioplynu. Jeho zastoupení v plynu je ovlivněno několika faktory, a to jak samotný substrát, tak i způsob jeho zpracování. Metan určuje výhřevnost bioplynu. Hodnoty výhřevnosti se pohybují v rozmezí $13,72 - 27,4 \text{ kJ/m}^3$. Specifický zápach bioplynu však neurčuje metan, ani oxid uhličitý. Typický zápach bioplynu vytvářejí ostatní plyny, které společně s metanem tvoří celou směs. Příliš vysoký obsah CO_2 však značí nevytvoření ideálních podmínek při průběhu anaerobní fermentace. Přítomnost volného kyslíku (O_2), s výjimkou počáteční fáze procesu, může být zapříčiněna zavzdušňováním pracovního prostoru. Z bezpečnostního hlediska je ale tento stav nežádoucí. Mohou se totiž tvořit výbušné směsi metanu právě s volným kyslíkem (Kára, 2007). Jednou z problémových složek je také sulfan (H_2S). Tato látka je při spalování příčinou tvorby kyseliny sírové (H_2SO_4), která při kondenzaci ze spalin způsobuje korozi. Při vyšší koncentraci se proto sulfan musí z bioplynu odstraňovat (Mužík a Kára, 2009). Průběh celého tohoto procesu ovlivňuje celá řada parametrů, jako jsou např. složení materiálu, podíl vlhkosti, teplota, prostředí pH, anaerobní prostředí apod. (Pastorek et al., 2004). V následující tabulce jsou uvedeny jednotlivé plyny a jejich zastoupení v bioplynu.

Tabulka 2 - Průměrné zastoupení plynů v bioplynu (Jelínek et al., 2001)

Metan	45-75 %
Oxid uhličitý	25-48 %
Dusík	1 - 3 %
Vodík	0 - 3 %
Sulfan	0,1 - 1 %

Při zajišťování surovin je nejdříve důležité zvážit, jaké vlastnosti se nejvíce podílí na produkci bioplynu. Zaprvé je velmi důležité množství sušiny materiálu. Měrná produkce bioplynu se nejčastěji udává na sušinu, případně může být vztažena k určité průměrné hodnotě (CZ Biom, 2015). Například při zpracování pevných odpadů je optimální hodnota obsahu sušiny v rozmezí 22-25 %. V případě zpracování tekutých odpadů se jedná ideálně o 8 – 14 %. Pokud jde o tekuté odpady s obsahem sušiny menším, než jsou 3 %, jsou tímto zpracovávány s negativní energetickou bilancí. Aby bylo dosaženo pozitivní energetické bilance, je zapotřebí, aby byl obsah sušiny vyšší, než 3 - 5 %. Nejvyšší možnou hodnotou, při které ještě může probíhat anaerobní fermentace, je 50 % obsahu sušiny (Kára, 2007). Především se jedná o exkrementy a odpady, u kterých nelze spoléhat na tabulkové hodnoty v původní hmotě. Je tedy zapotřebí zjistit obsah sušiny u jednotlivých materiálů. Například obsah sušiny u kejdy může při použití jednotlivých technologií kolísat od 3 do 8 % sušiny. Tento fakt poté může znamenat rozdíl produkce bioplynu na jednotku hmotnosti v původní hmotě. Důležitý parametr je tzv. organická sušina. Jedná se o obsah spalitelných látek (CZ Biom, 2015). Dalo by se říct, že čím více bude odbouráno organické sušiny, tím více bioplynu se vyrobí (Mužík a Kára, 2009). Právě organická hmota je poté pomocí mikroorganismů zpracována za vzniku bioplynu (CZ Biom, 2015).

1.6 Bioplynové stanice

Bioplynové stanice jsou zařízení, kde se spalováním bioplynu vyrábí teplo, případně v kogenerační jednotce teplo a elektřina. Tato energie byla dříve spotřebovávána přímo v místě výroby. Dnes je již zcela běžná dodávka elektrické energie do sítě, odkud putuje konečnému zákazníkovi (Brandejsová a Příbyla, 2009). Existuje mnoho způsobů, jak energeticky využít rostlinnou fytomasu (McKendry, 2002; Holečková,

2014). Převládá však energetické využití vlhké, biologicky rozložitelné biomasy právě v bioplynových stanicích (Pohořelý et al., 2012). Tento zdroj energie je považován za jeden z nejperspektivnějších obnovitelných zdrojů energie (Deublein a Steinhauser, 2011). Bioplynová stanice je technologicky velice propracované zařízení, které vychází z procesu anaerobní digesce. To slouží ke zpracování bioodpadu či jiného biologicky rozložitelného materiálu. Finálním produktem tohoto procesu je bioplyn, který se dále zpracovává a je využíván jako alternativní zdroj energie. Konstrukční plocha bioplynových stanic závisí na celkovém množství zpracovaného organického materiálu. Podle toho se pak bioplynové stanice dělí na malé a centralizované (Kajan, 2005). Pokud se podíváme na v počtu stanic v České republice například v rozmezí 7 let, jedná se o nárůst zhruba 250 stanic. Jejich počet na našem území ke konci minulého roku činil 574 (veškeré BPS) s celkovým instalovaným výkonem 367 MW. Podíl bioplynu na OZE je tak s tímto počtem stanic 22,9% (CZBA, 2019). Řadu let jsou v České republice bioplynové stanice provozovány v rámci technologií čištění odpadních vod. Bioplyn je poté energeticky využíván i na skládkách komunálních odpadů, kde se nachází vysoký podíl uložené biomasy. Teprve před několika lety nastal očekávaný rozvoj bioplynových stanic v zemědělství. Zemědělské BPS zpracovávají rostlinnou produkci a kejdu hospodářských zvířat. Komunální stanice zase ve většině případů biologicky rozložitelné odpady. Existují však i stanice, které dokáží využívat vedlejší produkty živočišného původu (tuky, jateční odpad, masokostní moučka apod.). Základem úspěšného a efektivního chodu bioplynových stanic závisí na dodávce takových vstupů, jimž je technologie stanic přizpůsobena (Sequens, 2009). Produkce bioplynu z jednotlivých vstupů do bioplynových stanic se výrazně liší. Záleží tedy nejen na použitém substrátu, ale i použité technologii procesu. Produkce bioplynu tedy musí být vždy vyhodnocena podle konkrétních podmínek (teplota, způsob provozu BPS, doba zdržení atd.). Z tohoto důvodu pak může docházet k odlišným výsledkům produkce bioplynu při vstupu stejného substrátu (CZ Biom, 2015). K tomu, aby bioplynové stanice bylo maximálně efektivní, je zapotřebí vytvořit ideální podmínky anaerobní fermentace. Zde jsou uvedeny právě tyto podmínky:

- **Vlhké prostředí** – Jen v případě, že je substrát dostatečně zalitý (minimálně 50 %), mohou metanové bakterie pracovat a následně se množit

- **Zabránění přístupu vzduchu** – Metanové bakterie nedokážou pracovat za přítomnosti vzduchu. Příkladem může být čerstvá kejda, ve které se nachází kyslík, a proto ho nejprve musí anaerobní bakterie spotřebovat
- **Zabránění přístupu světla** – Světlo bakterie sice nijak neničí, ale zpomaluje jejich rozmnožování
- **Stálá teplota** – Čím vyšší teplota, tím k rychlejšímu vyhnívání dochází. Metanové bakterie jsou činné při teplotě od 0 °C až 70 °C
- **Hodnota pH** – Optimální hodnota se pohybuje okolo 7,5 ve slabě alkalickém prostředí. V případě potřeby zvýšení pH se přidává vápno
- **Přísun živin** – Substrát musí obsahovat látky, které dokážou metanové bakterie zpracovat a to jsou rozpustné dusíkaté sloučeniny, minerální látky a stopové prvky, které jsou zapotřebí na buněčnou stavbu
- **Velké kontaktní plochy** – Abychom zajistili rychlejší vyhnívání, je nutno zmenšit pevné části substrátu. Tím docílíme větších kontaktních ploch
- **Zatížení vyhnívacího prostoru** – Dostatečné doplnění vyhnívacího procesu. Je nutné doplnit určité množství substrátu každý den, aby tak nedošlo k přerušení procesu
- **Rovnoměrný přísun substrátu** – V co nejkratších intervalech je zapotřebí dodávat substrát, aby nedošlo k zatížení plnicí zóny fermentoru
- **Odplynování substrátu** – Nebudeme-li odvádět plyn z vyhnívací nádrže, může dojít ke zvýšení tlaku, což by znamenalo škody na zařízení
- **Inhibitory** – Proces může zabrzdit nebo úplně zastavit i nadbytečné používání antibiotik, chemoterapeutik a desinfekčních prostředků (Schulz & Eder, 2004).

Nejvíce materiálu, který je pro výrobu bioplynu vhodný, pochází ze zemědělství. Jedná se především o exkrementy hospodářských zvířat, vedlejší produkce rostlinné výroby či záměrně pěstované energetické plodiny. Velké množství zbytkové biomasy je však vyprodukováno i v navazujícím potravinářském průmyslu. Velký potenciál, pro energetické využití, v sobě nese i biologicky rozložitelné komunální odpady.

Vyprodukovanou biomasu lze poté rozdělit na dvě základní skupiny – pěstovanou záměrně a odpadní. Obecně lze říct, že každý organický materiál obsahující velké množství těkavých látek a sušinou menší než 50 %, může být využit pro anaerobní digesci. Pro maximálně efektivní zpracování je ale zapotřebí, aby vlastnosti použitých materiálů byly v optimálním rozmezí (Mužik a Kára, 2009).

2 Cíl diplomové práce

Cílem této diplomové práce je posouzení vhodnosti *Silphium perfoliatum* L. pro účely produkce bioplynu na základě zkoušek výtěžnosti bioplynu. Podílet se na ošetřování porostu v rámci polních pokusů, podílet se na sběru dat a zanalyzovat vzorky dle dostupných metod. Následně zpracovat experimentální data a najít vhodný poměr kukuřice seté a mužáku prorostlého tak, aby výtěžnost bioplynu byla co nejefektivnější. Mužák prorostlý je vytrvalá bylina, jejíž pěstování je považováno za daleko méně zatěžující životní prostředí. Z environmentálního hlediska je tedy vhodné s ní kukuřici nahrazovat. Jelikož má ale kukuřice v dlouhodobém horizontu výtěžnost na jednotku plochy vyšší než mužák, je potřeba najít takový poměr vstupního materiálu, aby se produkce bioplynu zvýšila či alespoň dále nesnižovala. V rámci této práce byly namíchány směsi vzorků těchto dvou rostlin v různých poměrech a čisté vzorky obou rostlin. Z výsledné produkce bioplynu tak můžeme určit, který vzorek vykazoval nejefektivnější produkční kapacitu. Dalším cílem bylo zhodnotit výnosový potenciál mužáku prorostlého na základě polních pokusů.

2.1 Hypotézy

1. Produkce fytohmoty mužáku prorostlého nebude při jednosečném využití přesahovat literaturou (Ust'ak, 2012) uváděnou průměrnou úroveň 15 t ha^{-1} suché hmoty.
2. Na základě údajů z publikace Ust'ak a Munoz (2018) lze předpokládat, že produkční potenciál výtěžnosti metanu ze vzorku kukuřice seté bude zhruba o 5-10 % vyšší, než u mužáku.

3 Materiál a metodiky

Jak už bylo zmíněno v literární části diplomové práce, ve světě dochází k velkému nárůstu počtu bioplynových stanic. Jedním z negativních hledisek, s kterým se provoz bioplynových stanic potýká, je především ve výběru vhodného substrátu a tím pádem i způsobu pěstování těchto rostlin. Dostupná literatura uvádí, že konkurenceschopné výnosy fytomasy mužáku prorostlého tvoří až od druhého produkčního roku.

Díky velkému množství nadzemní fytomasy a hustému porostu dokáže *Silphium perfoliatum* L. dosahovat vysokých výnosů. V rámci polních pokusů této práce byla rostlina již ve třetím produkčním roce, čímž jsme mohli predikovat zvýšení výnosových parametrů nadzemní částí rostliny. Během analýzy dat jednotlivých vzorků bylo důležité najít ideální poměr mezi kukuřičnou siláží a siláží mužáku. Na základě výsledků jednotlivých vzorků bylo poté určeno, která z navážených směsí bude vykazovat nejlepší produkční parametry. Díky zjištěným hodnotám je poté možné doporučit vhodný poměr siláže pro účely produkce bioplynu v BPS.

3.1 Lokalita

Praktická část diplomové práce byla provedena na pozemku Jihočeské Univerzity v Českých Budějovicích.

Tabulka 3 - Popis referenčního pozemku

Město	České Budějovice
Kraj	Jihočeský
Nadmořská výška	380 m n.m.
Půdní druh	Písčito – hlinitý
Půdní typ	Kambizem pseudoglejová
Úhrn ročních srážek za rok 2016 - 2019 (mm)	639,5
Průměrná teplota za rok 2016 - 2019 (°C)	8,63°C

3.2 Porost

Referenční porost byl na pozemku Jihočeské univerzity založen v roce 2016 a navazuje na polní pokusy z kvalifikační práce z roku 2018. Na začátku práce bylo

zapotřebí zbavit porost nežádoucích rostlin. Hustota plevelných druhů rostlin byla nízká i vzhledem k důkladnému odplevelení v prvních dvou letech od založení porostu. Celá tato práce probíhala mechanicky. Ošetřený porost měl tak vhodné podmínky na znovuoobnovení fytomasy. Během sledování porostu bylo patrné, že množství fytomasy bude větší, oproti studii v bakalářské práci, kdy se jednalo teprve o první produkční rok. V následujících tabulkách uvádím měsíční hodnoty teplot po dobu studie.

Tabulka 4,5 - Měsíční teploty ovzduší dle ČHMÚ (2018/19)

2018	Měsíc	9.	10.	11.	12.						Průměr	
	Teplota (°C)	13,6	9,2	3,4	1,3						6,9	
2019	Měsíc	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	Průměr	
	Teplota (°C)	-1,9	1	5,1	8,6	9,9	20	18,6	18,3	12,8	10,3	

3.3 Stanovení výtěžnosti bioplynu

Metodické zpracování navazuje na bakalářskou práci (Malina, 2018). Pro účely diplomové práce byla využita metoda pro stanovení skutečné výtěžnosti bioplynu. Byly sbírány vzorky sušiny fytomasy kukuřice seté a mužáku prorostlého. Fytomasa byla po dobu 30 dnů uložena v tlakových lahvích při teplotě 40°C za občasného promíchání. Jako očkovací materiál (inokulum) byl využit digestát ze zemědělské bioplynové stanice, resp. jeho kapalná frakce (fugát). Fugát byl ředěn destilovanou vodou v poměru 1:3. Vznikající bioplyn byl jímán do plynových vaků. Po 30 dnech byl objem plynových vaků změřen a byla odečtena hodnota tzv. nulového vzorku (inokulum bez vzorku fytomasy). V následující tabulce (Tabulka č. 5) jsou uvedeny jednotlivé vzorky a jejich poměry.

Tabulka 5 - Jednotlivé směsi a jejich poměry

Směs	Poměr
Mužák	1
Mužák (stonek)	1
Mužák (list)	1
Mužák (květ)	1
Kukuřice	1
Mužák + kukuřice	90:10
Mužák + kukuřice	80:20
Mužák + kukuřice	70:30
Mužák + kukuřice	60:40
Mužák + kukuřice	50:50
Mužák + kukuřice	40:60
Mužák + kukuřice	30:70
Mužák + kukuřice	20:80
Mužák + kukuřice	10:90
Škrob	1
Čistý digestát	-

4 Výsledky a diskuze

4.1 Sklizeň

V září roku 2019 proběhla sklizeň porostu. Odebraná hmota poté byla zvážena a následně byl stanoven skutečný výnos čerstvé hmoty, suché hmoty a obsah sušiny. Dosažená hodnota byla poté převedena na jednotku plochy 1 hektar. Část sklizené hmoty byla usušena k určení hmotnosti sušiny fytomasy. Výnosové hodnoty jsou detailněji popsány v následující části diplomové práce.

4.1.1 Výnosy fytomasy

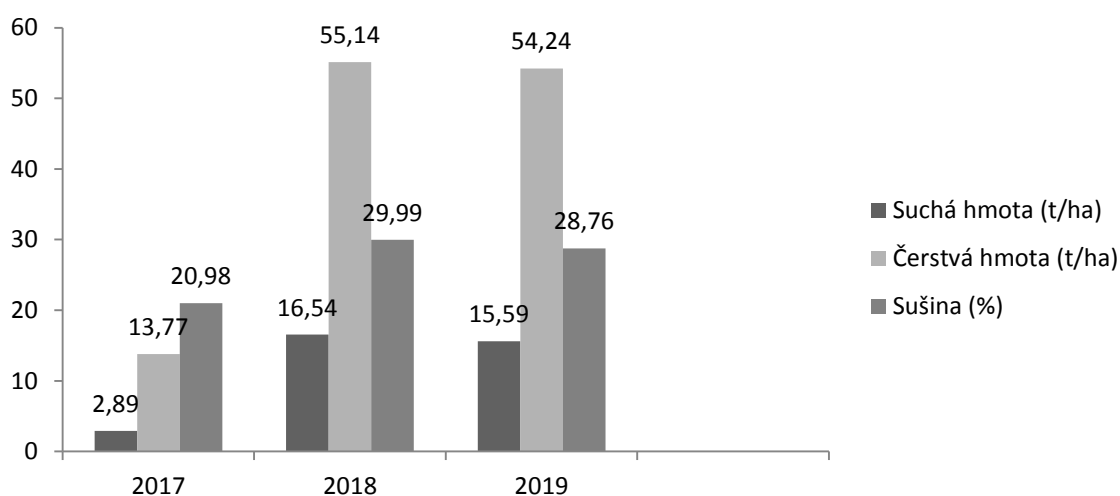
Tabulka 6 - Výnosy mužáku prorostlého

Roky (produkční)	1.	2.	3.
Suchá hmota (t ha ⁻¹)	2,89	16.54	15.59
Čerstvá hmota (t ha ⁻¹)	13,77	55.14	54,24
Sušina (%)	20,98	29.99	28.76

Porost, vysazený v roce 2016 byl pravidelně sklizen s cílem získat informace o množství fytomasy v jednotlivých letech. Naměřené hodnoty byly následně přepočítány na plochu jednoho hektaru. V prvním produkčním roce byl výnos minimální. Tato hodnota byla naměřena již v rámci první kvalifikační práce. Roky následující už se výnosové hodnoty velmi přibližují dostupným studiím zabývajícím se pěstováním mužáku prorostlého. Například Bauböck et al. (2014) ve své studii uvádí výnos čerstvé hmoty 50 t ha⁻¹. Stejně výnosové úrovně dosáhli ve své studii Albrecht & Goldstein (1997), kteří zaznamenali výnos čerstvé fytomasy 56,96 t ha⁻¹. O něco nižších, ale stále velmi podobných výsledků, dosáhl i Haag et al. (2015), jehož výnos čerstvé hmoty mužáku prorostlého byl 54,33 t ha⁻¹. Dalším srovnáním může být i Ust'ak (2012), kde výnos čerstvé hmoty pozoroval ve dvou sečích. V první, v době květenství, byla naměřena hodnota 39,4 t ha⁻¹. Druhá seč, v době růstu stonku, zaznamenala výnos čerstvé hmoty 29,5 t ha⁻¹. Stejný autor prováděl studii i v roce 2018, kde uvádí výnos suché hmoty v rozmezí od 12 do 18 t ha⁻¹ (Ust'ak a Munoz, 2018). V porovnání s několika studiemi, ve kterých se pěstováním mužáku prorostlého zabývají, se nám potvrdilo, že tato rostlina může být konkurenceschopná od druhého či třetího produkčního roku. Je to tedy jedním z důvodů, proč se tato

plodina nedočkala větší pozornosti. V následujícím grafu (Graf č.1) jsou pro lepší představivost znázorněny tyto hodnoty graficky, kde můžeme vidět obrovský rozdíl mezi prvním rokem a následujícími produkčními roky. Z hlediska obsahu sušiny můžeme tyto naměřené hodnoty porovnat například s Herrmann et al. (2016), jehož naměřený obsah sušiny během studie byl 27,1 %. Jako další, a znovu poměrně podobný výsledek, zaznamenal i Haag et al. (2014), a to celkový obsah sušiny fytomasy 24,65 %.

Graf 1 - Výnosy v jednotlivých letech



První produkční rok vykazoval mužák prorostlý velmi malé hodnoty. V roce 2018 to bylo 2,89 t ha⁻¹ a rok následující už 16,54 t ha⁻¹. V rámci diplomové práce bylo u mužáku dosaženo výnosu suché hmoty 15,59 t ha⁻¹. Dle dostupné literatury můžeme počítat průměrný výnos suché hmoty kukuřičné siláže zhruba 16 t ha⁻¹ a na základě tohoto údaje následně porovnat s mužákem prorostlým, vypěstovaným na referenčním pozemku. Pokud porovnáme výsledky sklizně kukuřice seté a mužáku prorostlého, můžeme tyto údaje následně převést na výpočet plochy potřebný na výnos stejného množství suché hmoty. V následující tabulce (Tabulka č. 7) je poté tato hodnota vypočítána. Na základě zjištěných výnosů v rámci této práce nemůžeme potvrdit hypotézu č. 1, protože výnos suché hmoty byl vyšší než 15 t ha⁻¹.

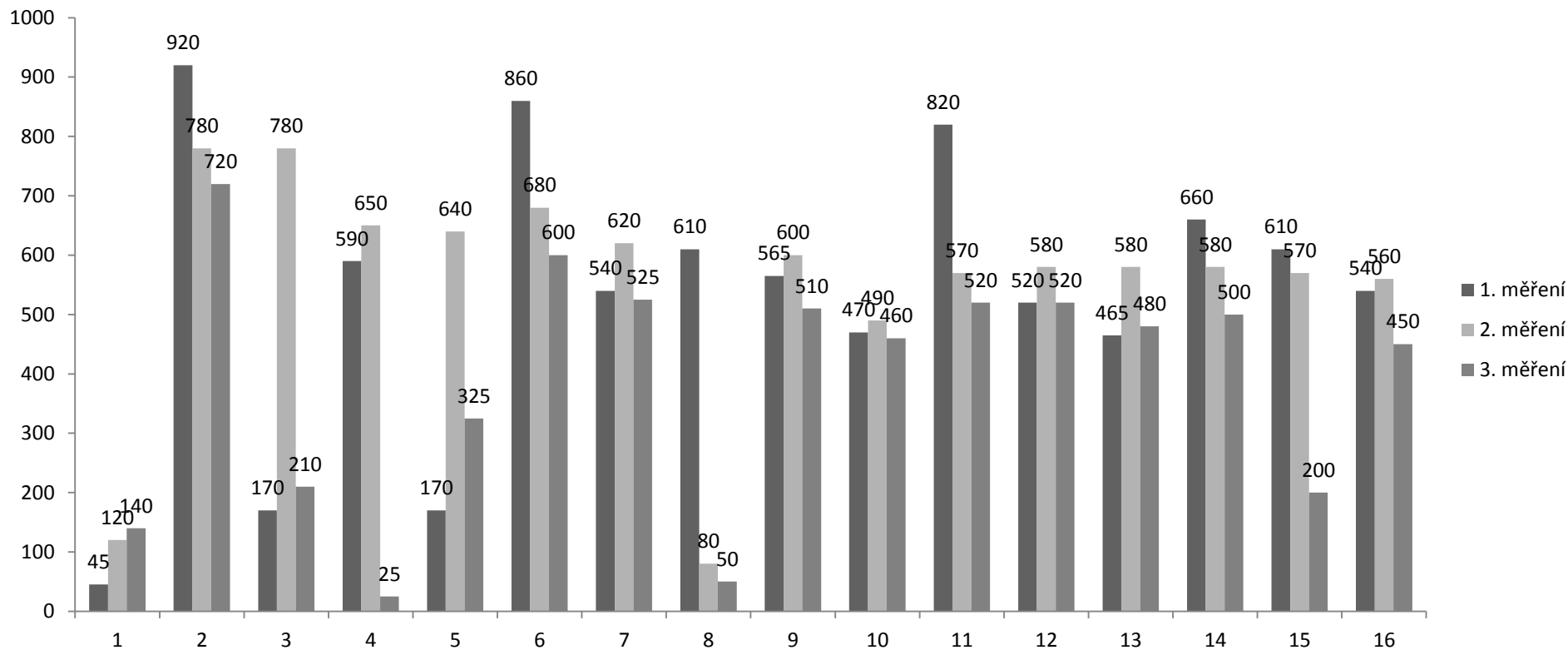
Tabulka 7 - Potřebná plocha mužáku prorostlého pro vytvoření stejného množství suché hmoty v porovnání s kukuřicí setou (ha)

Rok	2017	2018	2019	2020
Kukuřice setá	1	1	1	1
Mužák prorostlý	Rok založení porostu	5,54	0,97	1,03

4.2 Analýza vzorků

Nejdůležitější částí diplomové práce bylo zanalyzovat vzorky v rámci produkce bioplynu. V následujících grafech jsou uvedeny výsledky z jednotlivých měření. Zjištěná data jsou poté postupně srovnávána s dostupnou literaturou a kvalifikační prací z roku 2018. Mixování kukuřice a mužáku je v dnešní době studováno především v rámci pícninařských hodnot. U tohoto oboru je však důležité zmínit, že výsledky pozorování vykazují velmi slibný potenciál, na jehož základě se v budoucnu pravděpodobně setkáme s rozšířením využití mužáku prorostlého. Pro účely této práce bylo stěžejní, jaké množství bioplynu jednotlivé směsi vytvoří. Při výzkumu a pokusných měření bylo dosahováno velmi proměnlivých dat. Pro celkové zhodnocení produkce bioplynu této rostliny byly navíc vytvořeny i vzorky jednotlivých částí rostliny (květ, stonek a listy). Díky tomu poté můžeme určit, která část rostliny vytvoří největší množství bioplynu a která je tak nejefektivnější. Celkem byl tento pokus zopakován třikrát. Některá data byla proto zprůměrována. Zjištěná data byla poté postupně přepočítána i z hlediska výtěžnosti metanu ve vytvořeném bioplynu, energetického zisku a především výnosových parametrů. Podle zjištěných dat poté můžeme určit, který vzorek, a který poměr, je nejvhodnější pro účely produkce bioplynu. Protože je mužák prorostlý vytrvalá bylina a její pěstování je považováno za méně zatěžující životní prostředí, je proto vhodné touto rostlinou kukuřici nahrazovat. Jelikož má však kukuřice v dlouhodobém horizontu vyšší produkční parametry, než mužák, je proto vhodné najít takový poměr, který tuto produkci zachová stejnou či jí dokonce zvýšit.

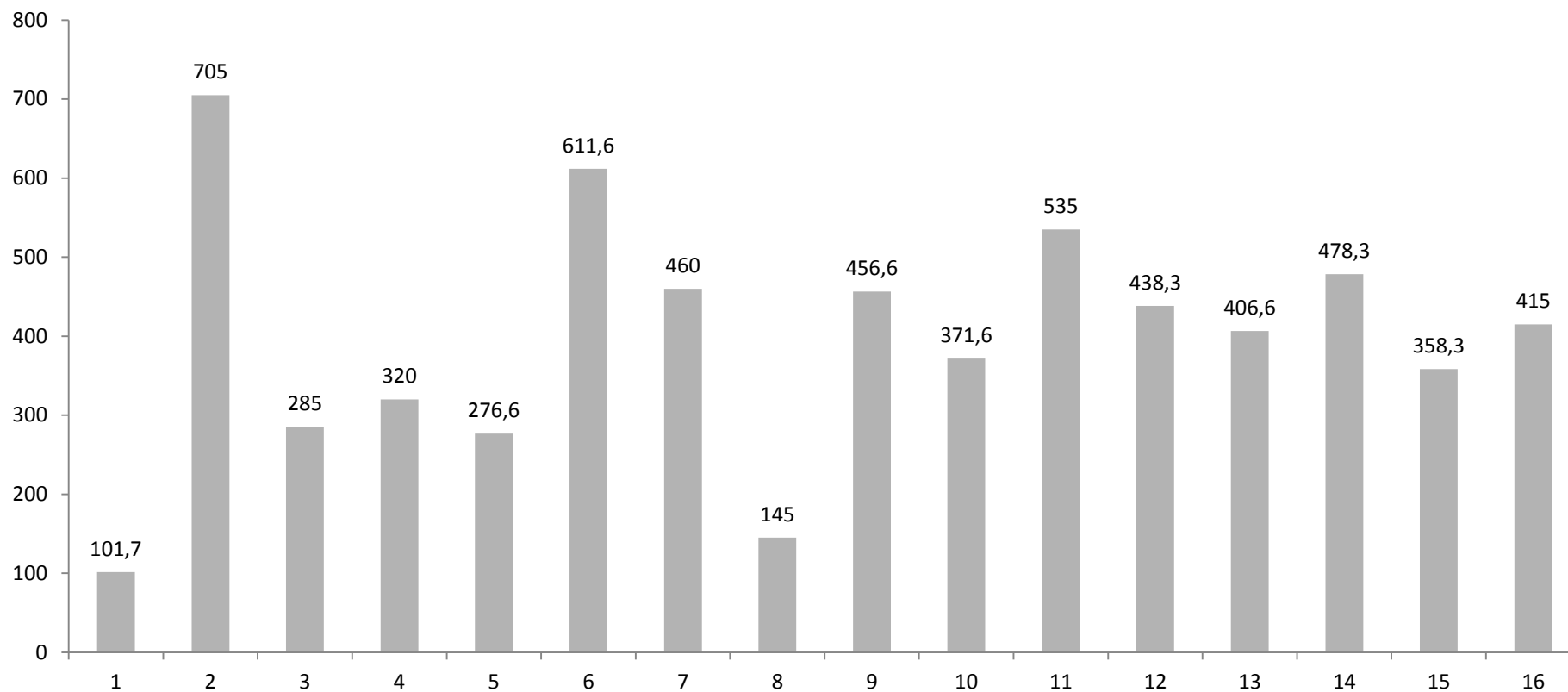
Graf 2 - Srovnání měření - absolutní objem bioplynu (ml)



Č. vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Vzorek/poměr (kuk.: muž.)	digestát	škrob	kukuřice	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60	30:70	20:80	10:90	mužák	s.p. stonek	s.p. květ	s.p. list

V grafu č. 2 jsou znázorněna jednotlivá měření, která jsou v následujícím grafu zprůměrována. Díky tomuto grafu můžeme vidět rozdílnost naměřených hodnot. Jedním z důvodů rozdílných hodnot může být použitý digestát, jako očkovací materiál. Použitý digestát v této studii pocházel ze zemědělského podniku. Na každé opakování pak byl použit jiný digestát. Jako nejefektivnější se podle měření jevil vzorek č. 6, tedy směs v poměru 70:30. Na základě této práce by se naopak nejméně efektivní zdál poměr kukuřice a mužáku v poměru 50:50, v tomto případě tedy vzorek č. 8. Při vyhodnocení výsledků všech měření je zajímavé, že pokud se jedná o vzorek s vyšším poměrem mužáku, množství bioplynu je v porovnání s kukuřicí vyšší. Celkově vzorky s vyšším poměrem právě *Silphium perfoliatum* L. vykazovaly stabilnější a poměrně vyrovnaných výsledků během všech opakování. U vzorků č. 14, 15 a 16, tedy u vzorků jednotlivých částí rostlin, bylo zaznamenáno nejvyšších hodnot u stonku. Část rostliny, která naopak dosáhla nejnižší hodnoty, byl květ. Dle tohoto grafu pak můžeme vidět, že v některých případech vzorky části rostlin dokonce převyšovaly ostatní směsi. Celkově výsledky čistých vzorků obou rostlin dopadly ve prospěch mužáku. Dostupná literatura a jednotlivé pokusy však vykazují opačný trend.

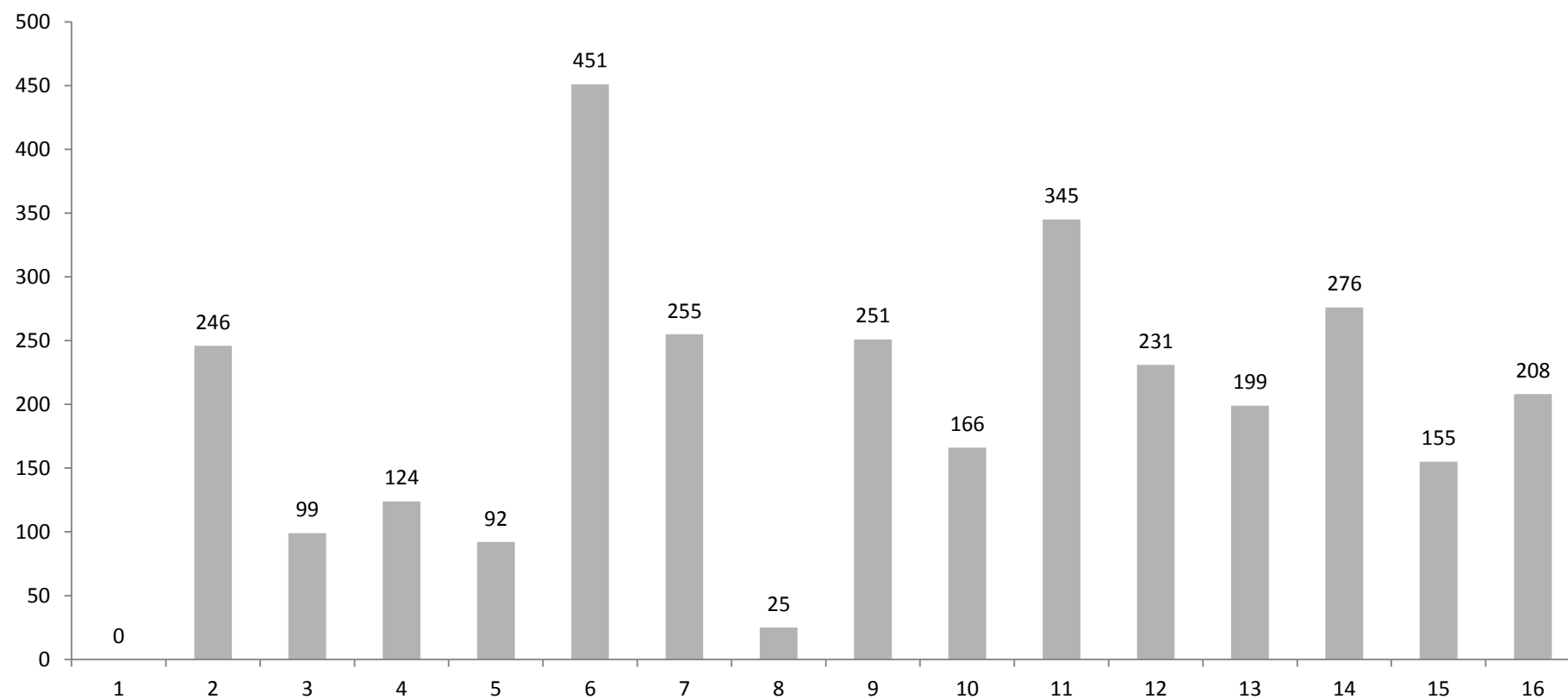
Graf 3 - Absolutní objem bioplynu ze vzorků (ml, Ø)



Č. vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Vzorek/poměr (kuk.: muž.)	digestát	škrob	kukuřice	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60	30:70	20:80	10:90	mužák	s.p. stonek	s.p. květ	s.p. list

Graf č. 2 znázorňuje hodnoty absolutního bioplynu, vytvořený jednotlivými vzorky. Všechny naměřené hodnoty byly poté zprůměrovány a zapsány do grafu. Největší objem bioplynu vytvořil vzorek č. 2, tedy vzorek škrobu. Hodnota škrobu dosáhla 705 ml bioplynu, což byl poměrně znatelný rozdíl v porovnání s ostatními vzorky. Nejnižší čísla byla pozorována u vzorku č. 8, tedy vzorek ve stejnoměrném poměru 50:50. Tento vzorek dosáhl hodnoty pouhých 145 ml bioplynu, tedy znatelně méně, než tomu bylo u ostatních navážek. Pokud bychom se zaměřili na výsledky rostlin a jejich směsí, kde bylo vytvořeno největší množství, jedná se o poměr 70:30 (vzorek č. 6). V tomto poměru navážené směsi bylo vytvořeno 611,6 ml bioplynu. Množství bioplynu u mužáku prorostlého bylo zhruba o 30 % vyšší, než u kukuřice. Z pohledu sledování výtěžnosti konkrétních částí rostlin (vzorky č. 14, 15 a 16) zaznamenal, jak už bylo řečeno, stonek. Celkový objem bioplynu tohoto vzorku byl 478,3 ml. Díky průměrným hodnotám všech opakování můžeme vidět, že i jednotlivé části rostlin vykazují vyšších hodnot, než je tomu u vzorků s poměrnou převahou kukuřičné siláže. Nejméně efektivní pak, s hodnotou 358,3 ml bioplynu, byl květ. Z celkového pohledu na výsledky, v rámci tohoto měření, lze potvrdit, že pokud se ve vzorku nachází vyšší poměr mužáku prorostlého, bude i vyšší celkový objem bioplynu.

Graf 4 - Teoretický energetický zisk (GJ ha⁻¹)



Č. vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Vzorek/poměr (kuk.: muž.)	digestát	škrob	kukuřice	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60	30:70	20:80	10:90	mužák	s.p. stonek	s.p. květ	s.p. list

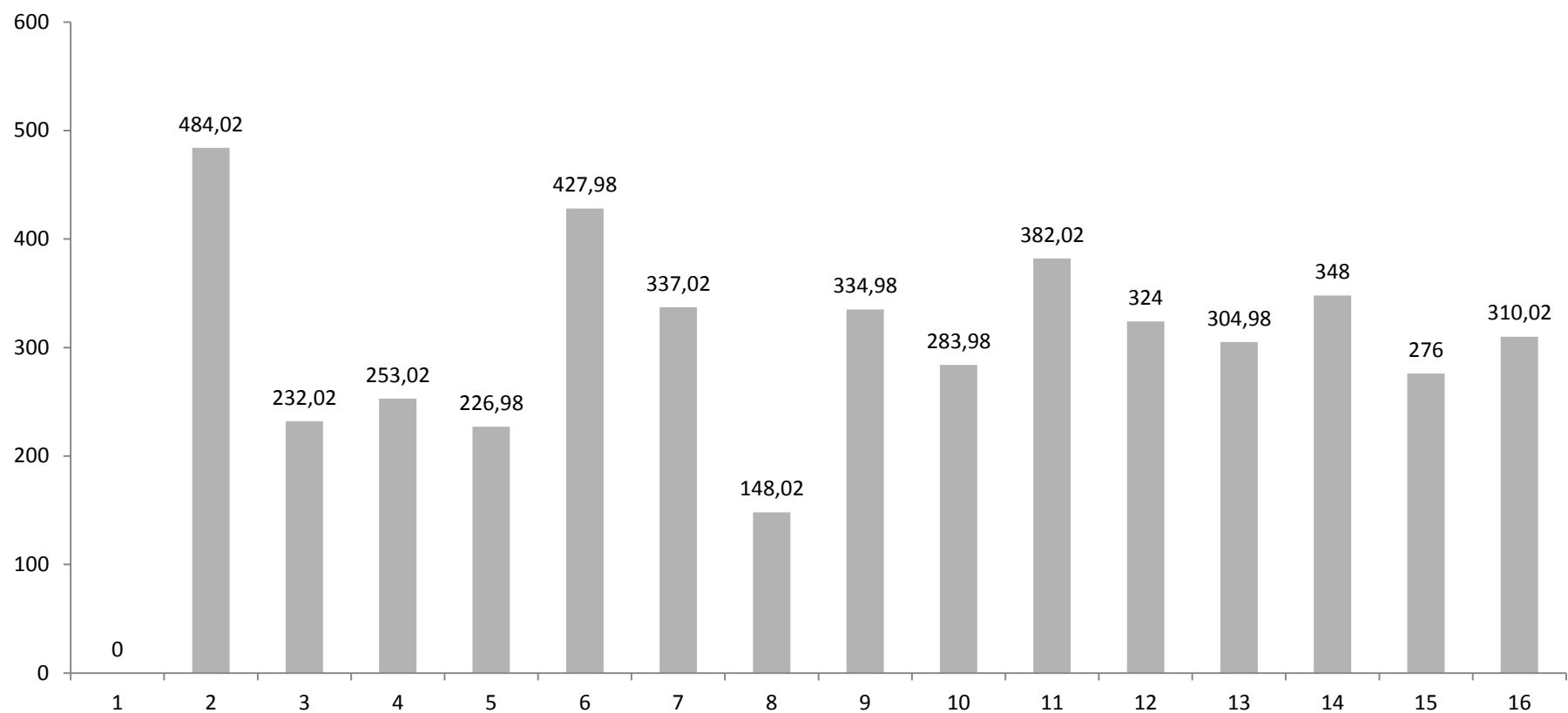
V grafu č. 3 je uveden teoretický energetický zisk, který byl přepočítán na jednotku plochy. Nejvyšší energetický zisk vykazuje vzorek směsi v poměru 70:30. Celková naměřená hodnota je 451 GJ ha^{-1} . Naopak nejnižší výsledek byl vyzorován u směsi č. 8, což byl poměr 50:50. Pokud se podíváme na vzorky č. 3 a 13, tedy vzorky, kde substrát tvořily pouze čisté referenční rostliny, vykazoval právě mužák znatelně vyšších hodnot. Celkový energetický zisk tohoto vzorku činil 199 GJ ha^{-1} . Znamená to tedy, že u vzorku čistého mužáku je energetický zisk jednou tak vyšší, než je u kukuřice. I v tomto měření vykazoval stonek nejvyšších hodnot, v rámci jednotlivých částí rostlin. Hodnota, které dosáhla tato část, byla 276 GJ ha^{-1} . Hodnota 155 GJ ha^{-1} pak znamenala naopak nejnižší energetický zisk, kde se jednalo o vzorek květu.

V porovnání s dostupnou literaturou najdeme však rozdílné výsledky. Například pokud jde o měření čistě jedné rostliny, ve své studii zaznamenal Budzynski (2004) 257 GJ ha^{-1} u mužáku prorostlého. O něco vyšších hodnot dosáhl Titei (2002), celkový zisk v autorově studii činil 365 GJ ha^{-1} . Zajímavým srovnáním je i studie Jankowski (2016), ve které autor pozoruje kukuřici setou po dobu 4 let a hodnoty, které zaznamenal, jsou v rozmezí od 350 GJ ha^{-1} do 434 GJ ha^{-1} . Důležitým ukazatelem změn, mezi jednotlivými produkčními roky, je i srovnání se studií v mé bakalářské práci. V následujících produkčních letech byl jasně patrný nárůst celkové fytomasy, tím pádem i produkčních schopností mužáku prorostlého. V tabulce č. 7 je znázorněn teoretický energetický zisk. V porovnání se studií v bakalářské práci se jedná o nárůst o $152,3 \text{ GJ ha}^{-1}$, což je celkově 4,3x vyšší energetický zisk, než v roce 2018.

Tabulka 8 - Srovnání energetického zisku s BP (2018)

Roky	2018	2020
Teoretický E zisk (GJ ha^{-1})	46,7	199

Graf 5 - Teoretická výtěžnost CH₄ (1 kg⁻¹ sušiny)



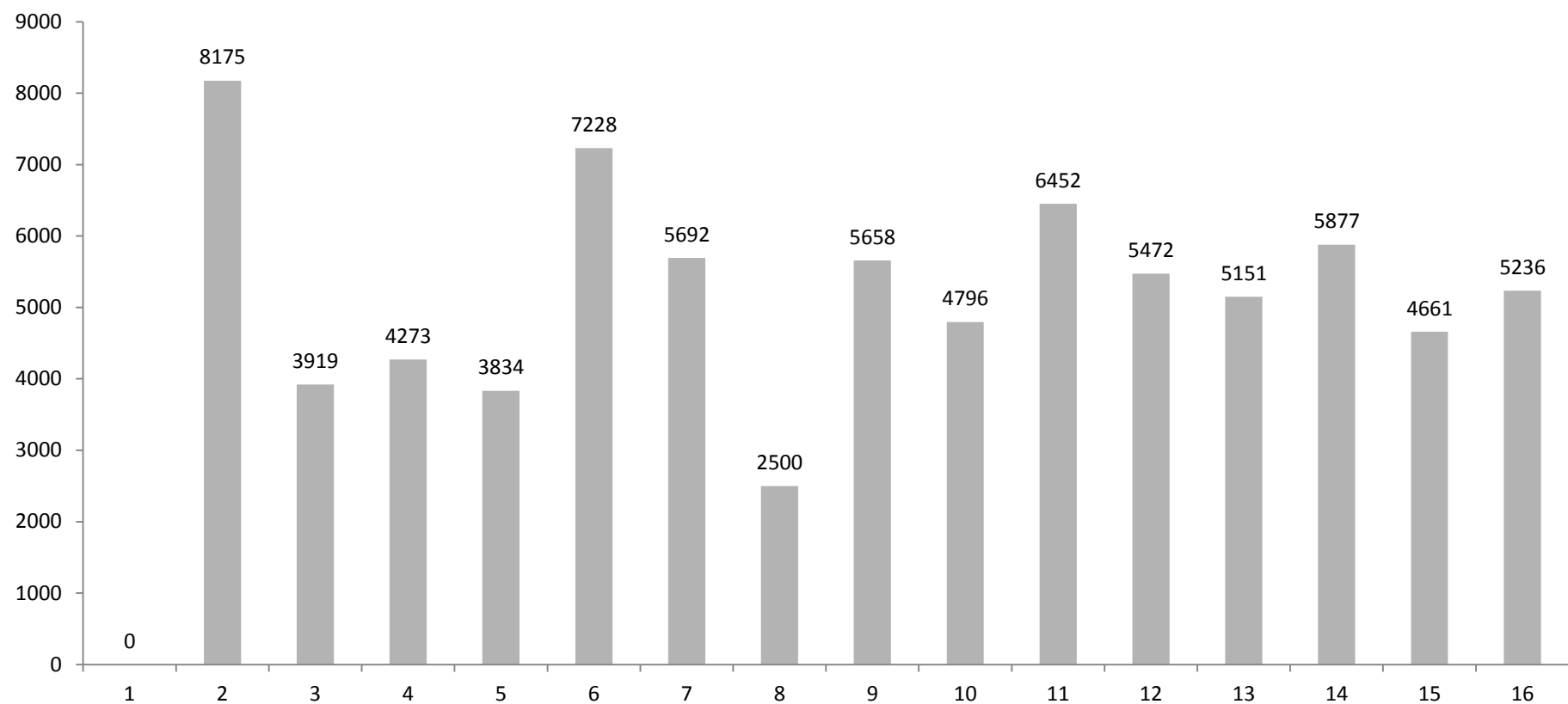
Č. vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Vzorek/poměr (kuk.: muž.)	digestát	škrob	kukuřice	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60	30:70	20:80	10:90	mužák	s.p. stonek	s.p. květ	s.p. list

Dalším zkoumáním mužáku prorostlého a kukuřice seté bylo z pohledu teoretické výtěžnosti metanu. Toto měření znamenalo zásadní údaje, protože právě metan určuje výhřevnost. Z hlediska tohoto měření vykazoval největší zisk škrob, tedy vzorek č. 2. Nejvyšší výtěžnost metanu ze vzorků rostlin vykazoval vzorek č. 6, tedy směs kukuřice a mužáku v poměru 70:30. Výtěžnost metanu této směsi byla 427,98 l kg⁻¹ sušiny. Zajímavým srovnáním je i má bakalářská práce, kde výtěžnost metanu mužáku prorostlého dosáhla hodnoty 453 l kg⁻¹ sušiny (Malina, 2018). Jako u předchozích měření, i v tomto případě je zajímavé se podívat na výsledky jednotlivých částí rostlin. Největší množství metanu bylo dosaženo u stonku s celkovou naměřenou hodnotou 348 l kg⁻¹ sušiny. Tento vzorek dokonce převyšoval nad některými vzorky, které obsahovaly směsi obou rostlin. V porovnání se samotnou kukuřicí je pak zajímavé, že každá část rostliny zaznamenala vyšší teoretickou výtěžnost metanu. Při porovnání těchto dvou hodnot se tedy dostaneme na velice podobný výsledek s minimálním rozdílem. Naopak u kukuřice, kde by se mohla očekávat vyšší výtěžnost, byla naměřena hodnota 232,02 l kg⁻¹, tedy rozdíl je zde už poměrně vysoký. Při porovnání s několika studii jsou hodnoty výtěžnosti metanu rozdílné. Například Pfänder (2015) ve výsledcích své práce uvádí výtěžnost metanu v rozmezí od 284-300 l kg⁻¹ sušiny. O dost výraznější rozdíl dosáhl například Třtější (2002), který při měření výtěžnosti metanu mužáku prorostlého získal množství 471 l kg⁻¹ sušiny. Výzkumů, zabývajících se výtěžností metanu u mužáku prorostlého existuje celá řada. V rámci této práce však výsledky měření poukazovala na podobná čísla. Nejedná se tedy o velký rozdíl. I zde můžeme vidět stoupající množství výtěžnosti metanu se stoupajícím podílem mužáku prorostlého. Naopak nejnižších hodnot zaznamenal vzorek, ve kterém se nachází stejné množství obou rostlin, tedy vzorek č. 8.

Tabulka 9 - Srovnání výtěžnosti CH₄ s BP (2018)

Roky	2018	2020
Teoretická výtěžnost CH ₄ (1kg ⁻¹ sušiny)	453	304,98

Graf 6 - Výtěžnost CH₄ (m³ ha⁻¹)



Č. vzorku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Vzorek/poměr (kuk.: muž.)	digestát	škrob	kukuřice	90:10	80:20	70:30	60:40	50:50	40:60	30:70	20:80	10:90	mužák	s.p. stonek	s.p. květ	s.p. list

Z grafu č. 5 je patrné, že vzorek č. 2 vytvořil největší množství CH_4 , celkové množství v tomto vzorku bylo $8175 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Ze směsí sledovaných rostlin a jejich jednotlivých poměrů bylo největšího množství zaznamenáno u vzorku č. 6. Směs v poměru 70:30 vytvořila $7228 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Nejnižší hodnoty zaznamenal vzorek č. 8, ve kterém bylo stejnoměrné množství obou rostlin, tedy v poměru 50:50. Hodnota tohoto vzorku činila $2500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Pokud se podíváme na výsledky čistých vzorků mužáku a kukuřice jednotlivě, větší množství CH_4 bylo pozorováno u mužáku, kde konečná naměřená hodnota byla $5151 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. U jednotlivých částí rostlin vidíme největší množství CH_4 u stonku, který zaznamenal celkovou hodnotu $5877 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Jako jedno z porovnání lze použít mou vlastní studii z roku 2018 v bakalářské práci. V rámci posuzování produkčních schopností mužáku prorostlého byl i v roce 2018 výpočet výtěžnosti CH_4 v jednotkách $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Při tomto měření dosáhla sledovaná rostlina výsledku $1310 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Malina, 2018). V porovnání výsledků z roku 2018 a 2020 se jedná o nárůst téměř čtyřnásobný. Pokud jde o výtěžnost metanu mužáku prorostlého na jednotku plochy, lze jako srovnání použít například studii Pfändera (2015). V této studii výtěžnost metanu u mužáku dosáhla hodnoty $4500 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Stejně tak lze pro porovnání použít i studii, zabývající se výtěžností metanu kukuřice. Například Ťiței (2002) ve své práci zaznamenal hodnotu $3127 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Na základě analýzy dat v tomto měření nemůžeme potvrdit hypotézu č. 2, jelikož teoretická výtěžnost CH_4 byla u mužáku prorostlého o 24 % vyšší, než u vzorku kukuřice.

Tabulka 10 - Srovnání výtěžnosti CH_4 s BP (2018)

Roky	2018	2020
Výtěžnost CH_4 ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	1310	5151

Tabulka 11 – Celkové srovnání výsledků měření BP/DP

	Výnos čerstvé hmoty (t ha ⁻¹)	Výnos suché hmoty (t ha ⁻¹)	Výtěžnost CH ₄ (1kg ⁻¹ sušiny)	Teoretická výtěžnost CH ₄ (m ³ ha ⁻¹ sušiny)	Teoretický energetický zisk (GJ ha ⁻¹)
Mužák prorostlý (BP)	13,8	2,9	453	1310	46,7
Mužák prorostlý (DP)	54,69*	15,57*	304,98	5151	199
Nárůst/snížení (%)	+ 25	+ 18	- 33	+ 25,5	+ 23,5
Vzorek č. 6 (70:30)	-	-	427,98	7228	451

* – průměrný výnos z let 2018, 2019

Díky této tabulce (Tabulka č. 11) můžeme vidět stoupající trend u výsledných hodnot. Jediný parametr, u kterého je bohužel sestupující tendence, je výtěžnost metanu. Zde se výsledný zisk, oproti studii z roku 2018, snížil o zhruba 150 l kg⁻¹. Lze tedy potvrdit, že první produkční rok rostliny nevykazuje výsledky, které by mohly konkurovat kukuřici. U sledovaných parametrů, které své hodnoty zvýšily, pozorujeme celkový nárůst o průměrných 23 %. Jelikož u všech měření bylo nejlepších výsledků dosahováno u vzorků č. 6, uvádím ho pro srovnání i v této tabulce. Můžeme tak vidět, že na základě výsledků této práce se poměr kukuřice a mužáku 70:30 jeví jako nejefektivnější variantou pro účely produkce bioplynu.

5 Závěr

Cílem této práce bylo posoudit vhodnost mužáku prorostlého (*Silphium perfoliatum* L.) pro účely produkce bioplynu na základě zkoušek výtěžnosti bioplynu. Tyto výsledky měření byly poté porovnány s výtěžností kukuřice seté (*Zea mays* L.). Před samotnou analýzou vzorků proběhl výpočet výnosu fytomasy mužáku prorostlého. V roce 2019 se jednalo o jeho třetí produkční rok, ve kterých potvrdil vzrůstající tendenci výnosových parametrů. Výnos čerstvé hmoty dosáhl v roce 2019 54,24 t ha⁻¹. Suchá hmota pak odpovídala hmotnosti 15,59 t ha⁻¹. Obsah sušiny fytomasy byl v tomto roce 28,76 %. Dále bylo v rámci praktické části diplomové práce bylo vytvořeno celkem 14 vzorků plus jeden vzorek čistého digestátu a jeden vzorek škrobu. U vzorků mužáku a kukuřice byly připraveny 100% navážky siláže. Pro celkové zhodnocení produkce bioplynu této rostliny byly navíc vytvořeny i vzorky jednotlivých částí rostliny (květ, stonek a listy). Výsledky těchto měření vykazovaly velice rozdílné výsledky, avšak jeden ze vzorků zaznamenal, ve všech parametrech měření, nejlepší hodnoty. Jednalo se o vzorek kukuřice a mužáku v poměru 70:30, který dominoval nad ostatními vzorky. Při pozorování absolutního objemu bioplynu, vytvořeného z návažených směsí, vytvořil vzorek č. 6 611,6 ml. Teoretický energetický zisk činil 451 GJ ha⁻¹. V rámci teoretické výtěžnosti metanu zaznamenal vzorek v poměru 70:30 hodnotu 427,98 l kg⁻¹ sušiny. Posledním sledovaným parametrem byla celková výtěžnost metanu, ve které dosáhl tento vzorek objemu 7228 m³ ha⁻¹. Na základě výsledků této práce můžeme tedy říci, že nejefektivnější variantou pro produkci bioplynu v BPS je právě toto procentuální složení směsi. Lze tedy doporučit právě tento poměr jako vstupní surovinu do bioplynových stanic. Pokud jde o zbylá měření, daleko vyšší hodnot vykazoval právě mužák protostlý. Na základě těchto výsledků můžeme říct, že čím vyšší poměr mužáku, oproti kukuřici, tím lepších výsledných hodnot bylo dosaženo. Ve všech parametrech pozorování tak lze říci, že mužák svými výsledky jednoznačně dominoval nad kukuřicí setou.

Na území České republiky se s mužákem prorostlým téměř nesetkáme. Jeho pěstování je u nás stále pouze na úrovni pokusných zkoumání. Celosvětově však vzbuzuje velký zájem. Důvodem, proč zatím mužák prorostlý nenachází své uplatnění v České republice, může být zapříčiněno nedostatečnou informovaností o rostlině samotné či její zdánlivě finanční náročnosti. Existuje dnes již celá řada studií, ve kterých mužák vykazoval velice slibných, či dokonce lepších produkčních

schopností, než je tomu u kukuřice seté. Svůj slibný potenciál se mu poměrně dobře daří naplňovat v sousedním Německu, kde se odehrála již celá řada pokusných studií.

Jak už zde bylo zmíněno, pěstování kukuřice s sebou nese určitá environmentální rizika a je důležité je eliminovat či alespoň zmírnit. Možným řešením může být právě netradiční energetická rostlina *Silphium perfoliatum* L., který by si na základě dostupných studií zasloužil daleko větší pozornosti. Jedná se o velice cennou a ekologicky hodnotnou vytrvalou bylinu. Tato žlutě kvetoucí bylina z čeledi hvězdnicovitých představuje obrovský produkční potenciál s vysokými výnosy biomasy a z environmentálního hlediska především minimálními nároky na ošetření či stanoviště. Svými energetickými produkčními schopnostmi by tak mohl být vhodnou alternativou ke kukuřici seté. Ze zjištěných dat této práce se jako nejefektivnější varianta silážního mixu pro produkci bioplynu jeví poměr 70 % kukuřice setá: 30 % mužák prorostlý.

6 Seznam literatury

1. Alaru, M., Olt, J., Kukk, L., Luna-delRisco, M., Lauk, R., & Noormets, M. (2011). Methane yield of different energy crops grown in Estonian conditions. *Agronomy Research*, 9(Special Issue I), 13-22.
2. Albrecht, K. A., & Goldstein, W. (1997). *Silphium perfoliatum*: A North American prairie plant with potential as a forage crop. In Conference June 8-19 Conference Year, Winnipeg (pp. 167-168).
3. Barbosa, D. B. P., Nabel, M., & Jablonowski, N. D. (2014). Biogas-digestate as nutrient source for biomass production of *Sida hermaphrodita*, *Zea mays* L. and *Medicago sativa* L. *Energy Procedia*, 59, 120-126.
4. Bauböck, Roland, Marianne Karpenstein-Machan, and Martin Kappas (2014). "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.
5. Biertümpfel, A., Köhler, J., & Reinhold, G. (2013). Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Durchwachsener Silphie.
6. Boehmel, C., Lewandowski, I., & Claupein, W. (2008). Comparing annual and perennial energy cropping systems with different management intensities. *Agricultural systems*, 96(1), 224-236
7. Brandejsová, Eliška a Zdeněk Příbyla (2009). *Bioplynové stanice: (zásady zřizování a provozu plynového hospodářství)*. Praha: GAS. ISBN 978-80-7328-192-2.
8. CÚZK (2010). *Souhrnné přehledy o půdním fondu z údajů katastru nemovitostí České republiky: stav ke dni ..* Praha: Český úřad zeměměřický a katastrální, ISBN 978-80-88197-15-7. ISSN 1804-2422.
9. CZBA: Česká bioplynová asociace (2017). [online]. České Budějovice, [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://www.czba.cz/>
10. CZ Biom (2015). *Výtěžnost bioplynu z jednotlivých materiálů*. Biom.cz [online]. 2015-09-15 [cit. 2020-06-06]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyteznost-bioplynu-z-jednotlivych-materialu>>. ISSN: 1801-2655.

11. Deublein, D., Steinhauser, A. (2011). Biogas from waste and renewable resources: an introduction. John Wiley & Sons.
12. Diviš, Jiří. Pěstování rostlin (2010). (učební texty pro obor provozní podnikatel a pozemkové úpravy a převody nemovitostí). 2., dopl. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, ISBN 978-80-7394-216-8.
13. Ericsson, K., Rosenqvist, H., & Nilsson, L. J. (2009). Energy crop production costs in the EU. *Biomass and bioenergy*, 33(11), 1577-1586.
14. 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.
15. 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
16. Havlíčková, K., Weger, J., Konvalina, P., Moudrý, J., Stražil, Z. (2007). Zhodnocení ekonomických aspektů pěstování a využití energetických rostlin. Vědecká monografie. Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví Průhonice a Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 92 p.
17. Havlů, Michal (2008). Využití biomasy v České republice. Brno, Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Hájek, Ph.D.
18. Holečková, M. (2014). Energetické využití biomasy: Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, 53 s. 1 příloha. Vedoucí práce Ing. Marek Baláš, Ph.D.
19. Holub, Peter (2007). Miscanthus - energetická rostlina budoucnosti? *Biom.cz* [online]. [cit. 2020-04-03]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/miscanthus-energeticka-rostlina-budoucnosti>>. ISSN: 1801-2655.
20. Cherubini, Francesco; Strømman, Anders Hammer (2011). Life cycle assessment of bioenergy systems: state of the art and future challenges. *Bioresource technology*, 102.2: 437-451.
21. Jankowski, Krzysztof Józef, Bogdan Dubis, Mateusz Mikołaj Ssokólski, Dariusz Zaluski, Piotr Bórawski a Władysław Szempliński. Productivity and

- energy balance of maize and sorghum grown for biogas in a large-area farm in Poland: An 11-year field experiment. *Industrial Crops and Products*. 2020, 148(112326). DOI: 10.1016.
22. Janouchová, R. (2012). Substráty a jejich využití v bioplynových stanicích. In: Kajan, Miroslav. Sborník konference: Výstavba a provoz bioplynových stanic. Třeboň: ČOV, spol. s.r.o., s. 145-149.
23. Jasinskas, A., Zaltauskas, A., & Kryzeviciene, A. (2008). The investigation of growing and using of tall perennial grasses as energy crops. *Biomass and Bioenergy*, 32(11), 981-987.
24. Jelínek, Antonín (2018). Hospodaření a manipulace s odpady ze zemědělství a venkovských sídel. Praha: Agrospoj, 2001. Semafor. ISBN 80-239-4234-4.
25. Jucsor, Noemi & Sumalan, Radu (2018). Researches concerning the potential of biomass accumulation in cup plant (*Silphium perfoliatum* L.). 22 (1). 34-39.
26. Kajan, Miroslav (2005). Bioplyn z odpadů živočišné výroby. *Biom.cz* [online]. [cit. 2020-03-04]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplyn-z-odpadu-zivocisne-vyroby>>. ISSN: 1801-2655.
27. Kaletová, Alice (2011). Bioplyn jako alternativní zdroj energie v České republice. Brno, Diplomová práce. Masarykova Univerzita. Vedoucí práce Ing. Vilém Pařil.
28. Kára, Jaroslav (2007). Výroba a využití bioplynu v zemědělství. Praha: VÚZT, ISBN 978-80-86884-28-8.
29. Knápek, J., Haas, R., Jílková, J. (2010). Energy for sustainable development II: CZ-AT EEG 2010 : research papers of Czech-Austrian Energy Expert Group. Praha: Alfa Nakladatelství, 2010. ISBN 9788087197363.
30. Koloničný, Jan a Veronika HASE (2011). Využití rostlinné biomasy v energetice. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-248-2541-0.
31. Kowalski, R., & Kędzia, B. (2007). Antibacterial activity of *Silphium perfoliatum*. Extracts. *Pharmaceutical Biology*, 45(6), 494-500.
32. Kratochvílová et al., (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_vyrobou_vyu
zitim_bioplynu_2.pdf

33. Kukk, L., Roostalu, H., Suuster, E., Rossner, H., Shanskiy, M., & Astover, A. (2011). Reed canary grass biomass yield and energy use efficiency in Northern European pedoclimatic conditions. *Biomass and Bioenergy*, 35(10), 4407-4416.
34. Lewandowski, I., Clifton-Brown, J. C., Scurlock, J. M. O., & Huisman, W. (2000). Miscanthus: European experience with a novel energy crop. *Biomass and Bioenergy*, 19(4), 209-227.
35. Lewandowski, I., Scurlock, J. M. O., Lindvall, E. & Christou, M. (2003). The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe, *Biomass and Bioenergy*, 25, 335 – 361.
36. Lhotský, R., Kajan, M. (2011). Anaerobic digestion of biomass from permanent grasslands as an alternative to energy plants, *Acta Pruhoniana* 97:69–75, 2011
37. Libra, Martin a Vladislav Poulek (2007). *Zdroje a využití energie*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, ISBN 978-80-213-1647-8.
38. Malaťák, Jan a Petr Vaculík (2008). *Biomasa pro výrobu energie*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, ISBN 978-80-213-1810-6.
39. McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource technology*, 83(1), 37-46.
40. Menardo, S., Bauer, A., Theuretzbacher, F., Piringer, G., Nilsen, P. J., Balsari, P., ... & Amon, T. (2013). Biogas production from steam-exploded miscanthus and utilization of biogas energy and CO₂ in greenhouses. *BioEnergy Research*, 6(2), 620-630.
41. Malina, David. (2018). *Pěstování Silphium perfoliatum L. pro energetické účely a hodnocení produkčních schopností*. České Budějovice, 2018. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Bernas, Ph.D.
42. Matthews, J., Beringen, R., Huijbregts, M. A. J., Van der Mheen, H. J., Odé, B., Trindade, L., ... & Leuven, R. S. E. W. (2015). *Horizon scanning and environmental risk analyses of non-native biomass crops in the Netherlands*. Radboud University Nijmegen

43. Moudrý, J., Stražil, Z. (1998). Energetické plodiny v ekologickém zemědělství. Spolek poradců, 53
44. Mužík, Oldřich, Kára, Jaroslav (2009). Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. Biom.cz [online].[cit. 2020-06-07]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>>. ISSN: 1801-2655.
45. MZe (2019), Ministerstvo zemědělství. Zemědělství: 2018 [online]. Praha, [cit. 2020-04-03]. ISBN 978-80-7437-512-8. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/627472/Zemedelstvi_2018_brozura_pro_web.pdf
46. Novák, Daniel a Jaroslav Vrzal (1995). Základy pěstování kukuřice a jednoletých pícnin. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, Rostlinná výroba (Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR). ISBN 807105-097-0.
47. Ochodek, T., Koloničný, J., & Janásek, P. (2006). Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy. ISBN: 80, 248-1207.
48. Pastorek, Zdeněk, Jaroslav Kára a Petr Jevič (2004). Biomasa: obnovitelný zdroj energie. Praha: FCC Public. ISBN 80-86534-06-5.
49. Pastorek, Z. (2005). Legislativní podpora využití biomasy. In Zemědělská technika abiomasa. Praha: VÚZT, 2005. s. 7-10.
50. Paustian, K., Cole, C. V., Sauerbeck, D., & Sampson, N. (1998). CO2 mitigation by agriculture: an overview. Climatic change, 40(1), 135-162.
51. Petříková, Vlasta (1999). Rostliny pro energetické účely. Česká energetická agentura [online]. Praha, 34 [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: https://www.mpo-efekt.cz/dokument/99_8089.pdf
52. Petříková, Vlasta (2009). Význam cíleně pěstovaných energetických plodin. Biom.cz [online]. [cit. 2020-04-03]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyznam-cilene-pestovanych-energetickych-plodin>>. ISSN: 1801-2655.
53. Petříková, Vlasta (2012). Bioplyn – kukuřice – krmný šťovík. Biom.cz [online]. 2012-03-19 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplyn-kukurice-krmny-stovik>>. ISSN: 1801-2655.

54. Pohořelý, M., Jeremiáš, M., Kameníková, P., Skoblia, S., Svoboda, K., & Punčochář, M. (2012). Zplyňování biomasy. *Chem. Listy*, 106, 264-274.
55. Procházka, J., Dohányos, M., Kajan, M., Diviš, J. (2013). Produkce bioplynu z kukuřice. Česká bioplynová asociace. Dostupné z: <http://www.czba.cz/produkce-bioplynu-z-kukurice.html>
56. Saidur, R., Abdelaziz, E. A., Demirbas, A., Hossain, M. S., & Mekhilef, S. (2011). A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2262-2289.
57. Sequens, Edvard (2009). Bioplynové stanice a životní prostředí. České Budějovice: Calla - Sdružení pro záchranu prostředí. ISBN 978-80-87267-06-6.
58. Scheer, H. (2007). Energy autonomy: the economic, social and technological case for renewable energy. Earthscan. V. A. 321 p.
59. Schulz, Heinz a Barbara Eder (2004). Bioplyn v praxi: teorie - projektování - stavba zařízení - příklady. Ostrava: HEL. ISBN 80-86167-21-6.
60. Skoblia, Siarhei, Daniel Tenkrát, Martin Vosecký, Michael Pohořelý, Martin Lisý, Marek Balaš a Ondřej Prokeš (2006). Využití biomasy jako obnovitelného zdroje energie. *Chemické listy* [online]. Praha, 100, s20-s24 [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: http://chemicke-listy.cz/docs/full/2006_s1_s20-s24.pdf
61. 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).
62. Součková, H., Moudrý, J. (2006). Nepotravinářské využití fytomasy. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 95 s. ISBN 80-7040-857-X.
63. Stanford, G. (1990). *Silphium perfoliatum* (cup-plant) as a new forage. In *Proceedings of the Twelfth North American Prairie Conference*, Cedar Falls, IA (pp. 33-37).
64. Straková, M., Straka, J., Michalíková, L., Plevová, K. (2007). Kapesní atlas trav. Rousínov, Ministerstvo zemědělství, 46 s.

65. Stražil, Zdeněk (2009). *Základy pěstování a možnosti využití ozdobnice (Miscanthus)*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, ISBN 978-80-7427-006-2.
66. Středa, Tomáš a Zdeněk Stražil (2014). *Pěstování rostlin pro nepotravinářské účely: speciální část*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, ISBN 978-80-7509-005-8.
67. Tabatabaei, M., & Ghanavati, H. (Eds.). (2018). *Biogas: Fundamentals, Process, and Operation (Vol. 6)*. Springer. 472 p., ISBN: 978-3-319-77334-6
68. Ust'ak, Sergej (2006). *Netradiční energetické rostliny perspektivní pro pěstování v podmínkách mírného klimatického pásma*. Biom.cz [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/netradicni-energeticke-rostliny-perspektivni-pro-pestovani-v-podminkach-mirneho-klimatickeho-pasma>>. ISSN: 1801-2655.
69. Ust'ak, Sergej (2007). *Pěstování a využití šťovíku krmného v podmínkách České republiky*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, ISBN 978-80-87011-26-3.
70. Ust'ak, S., Stražil, Z., Váňa, V., Honzík, R. (2012). *Pěstování chrastice rákosovité Phalaris arundinacea L. pro výrobu bioplynu*. Praha, Výzkumný ústav rostlinné výroby, 24 s.
71. Ust'ak, 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
72. Ustak, S., & Munoz, J. (2018). *Cup-plant potential for biogas production compared to reference maize in relation to the balance needs of nutrients and some microelements for their cultivation*. *Journal of environmental management*, 228, 260–266.
73. Váňa, J. (2007). *Využití digestátů jako organického hnojiva*. [cit. 24. 11. 2019], dostupné na internetu: <http://biom.cz/index.shtml?x=1996029>, ISSN: 1801-2655
74. Vráblíková, Jaroslava (1999). *Ekologické formy hospodaření v krajině. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně. Acta Universitatis Purkynianae*. ISBN 80-7044-272-7.

75. von Cossel, Moritz. Renewable Energy from Wildflowers-Perennial Wild Plant Mixtures as a Social-Ecologically Sustainable Biomass Supply System. 2020, (2000037). DOI: 10.1002/adsu.202000037.
76. Weber, E. (2003). Invasive plant species of the world: a reference guide to environmental weeds. CABI publishing.
77. Weger, J., et al. (2012). Možnosti pěstování biomasy jako energetického zdroje v Ústeckém kraji. Výzkumný ústav Silva Taurocy pro krajinu a okrasné zahradnictví, Průhonice. ISBN 978-80-5116-66-3
78. Zimolka, Josef (2008). Kukuřice. Praha: Profi Press, s.r.o, ISBN 978-80-86726-31-1.

7 Přílohy

Seznam použitých zkratk

BPS – bioplynové stanice

CUZK - Český úřad zeměměřický a katastrální

CZBA – Česká bioplynová asociace

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

EU – Evropská unie

HTS – hmotnost tisíce semen

MZe – Ministerstvo zemědělství

OZE – obnovitelné zdroje energie

s. p. – *Silphium perfoliatum* L.

TTP – trvale travní porost

Seznam grafů

Graf 1 - Výnosy v jednotlivých letech	31
Graf 2 - Srovnání měření - absolutní objem bioplynu (ml).....	33
Graf 3 - Absolutní objem bioplynu ze vzorků (ml, \emptyset).....	35
Graf 4 - Teoretický energetický zisk (GJ ha^{-1}).....	37
Graf 5 - Teoretická výtěžnost CH_4 (l kg^{-1} sušiny)	39
Graf 6 - Výtěžnost CH_4 ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$).....	41

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Chemické složení zrna kukuřice (%) (Diviš et al., 2010).....	16
Tabulka 2 - Průměrné zastoupení plynů v bioplynu (Jelínek et al., 2001).....	22
Tabulka 3 - Popis referenčního pozemku.....	27
Tabulka 4,5 - Měsíční teploty ovzduší dle ČHMÚ (2018/19)	28
Tabulka 5 - Jednotlivé směsi a jejich poměry	29
Tabulka 6 - Výnosy mužáku prorostlého	30

Tabulka 7 - Potřebná plocha mužáku prorostlého pro vytvoření stejného množství suché hmoty v porovnání s kukuřicí setou (ha)	32
Tabulka 8 - Srovnání energetického zisku s BP (2018).....	38
Tabulka 9 - Srovnání výtěžnosti CH ₄ s BP (2018)	40
Tabulka 10 - Srovnání výtěžnosti CH ₄ s BP (2018)	42
Tabulka 11 – Celkové srovnání výsledků měření BP/DP	43