

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH**

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

AUTOREFERÁT DISERTAČNÍ PRÁCE

ING. JAROSLAV BERNAS

**ČESKÉ BUDĚJOVICE
2018**

Autoreferát disertační práce

Doktorand: **Ing. Jaroslav Bernas**

Studijní program: Fytotechnika

Studijní obor: Speciální produkce rostlinná

Název práce : Environmentální energetické a ekonomické aspekty pěstování vybraných energetických rostlin

Školitel : doc. Ing. Jan Moudrý, Ph.D.

Konzultant: prof. Ing. Jan Moudrý, CSc.

Oponenti: prof. Ing. Milada Šťastná, Ph.D.
ÚKE AF, MENDELU Brno

doc. Ing. Jan Mikulka, CSc.
VÚRV, v. v. i., Praha

Ing. Mgr. Jiří Lehejček, Ph.D.
FLKŘ UTB ve Zlíně, ÚEB

Obhajoba disertační práce se koná dne 19. 4. 2018 vhod. v budově v místnosti vědecké rady ZF JU v Českých Budějovicích.

S disertační prací se lze seznámit na studijním oddělení Zemědělské fakulty JU v Českých Budějovicích.

doc. Ing. Jan Bárta, Ph.D.
předseda oborové rady
Speciální produkce rostlinná
ZF JU v Českých Budějovicích

Souhrn

Disertační práce je založena na posouzení vhodnosti pěstování vybraných energetických rostlin z pohledu environmentálních, energetických a ekonomických aspektů. Cílovou rostlinou této komparativní studie je v podmínkách České republiky nově zaváděná rostlina - *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1, potenciálně vhodná k účelům výroby energie v bioplynových stanicích či prostřednictvím přímého spalování sklizené fytomasy. Ta je porovnávána s kukuřicí setou, chřasticí rákosovitou a ozdobnicí čínskou. Základní data byla získána z téměř pětiletého pěstování a sledování vybraných rostlin v poloprovozních maloparcelkových pokusech na pozemcích ZF JU v Českých Budějovicích. Výsledky hodnocení environmentálních dopadů jsou posuzovány pomocí metody LCA (*Life Cycle Assessment*), resp. její zjednodušené verze zaměřené na dopadovou kategorii Změna klimatu. K výpočtům je využit specializovaný software SimaPro s využitím jeho integrovaného charakterizačního modelu ReCiPe a databáze *Ecoinvent*. Sledovány jsou hodnoty energie potenciálně získatelné spálením sledovaných plodin, či výrobou elektřiny v kogenerační jednotce z vytvořeného bioplynu procesem anaerobní fermentace. Návazně je stanovena potřeba ploch pro pěstování jednotlivých plodin pro získání stejného množství energie. V práci je dále hodnocena technologická náročnost zakládání a ošetřování porostů vybraných energetických rostlin a využití jejich produkčního potenciálu. Výsledky shrnují data charakterizující vlastnosti jednotlivých rostlin, v rámci environmentálního dopadu jejich pěstování vyjadřují zátěž emisemi skleníkových plynů (v CO₂ eq) a vyčíslují základní ekonomické parametry jejich pěstování a energetického využití. Na základě údajů získaných při několikaletém pěstování Szarvasi-1 lze konstatovat, že nebyly potvrzeny predikované výnosové a energetické vlastnosti a její zařazení do osevních plánů jako alternativní energetické rostliny, i s ohledem na aspekty ekonomické, nelze jednoznačně doporučit. V porovnání s kukuřicí setou však přináší významné environmentální benefity v podobě nižší emisní zátěže na jednotku získané energie (kg CO₂ eq.GJ⁻¹) a též na jednotku plochy (kg CO₂ eq.ha⁻¹).

Klíčová slova

Fytomasa, OZE, hodnocení environmentálních aspektů, ekonomická, spalné teplo, výhřevnost, produkce bioplynu, emise skleníkových plynů

Abstract

The dissertation is based on the assessment of the suitability of cultivating selected energy plants from the point of view of environmental, energy and economic aspects. The target plant of this comparative study is the newly introduced plant in the conditions of the Czech Republic - *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1, potentially suitable for energy production purposes in biogas stations or through direct combustion of harvested phytomass. This plant is compared with maize, reed canary grass and *Miscanthus sinensis*. The basic data was obtained from nearly five-year cultivation and monitoring of selected plants in pilot small-scale experiments on the plots at Faculty of Agriculture of University of South Bohemia in České Budějovice. The results of the environmental impact evaluation are assessed using the LCA method (*Life Cycle Assessment*), or its simplified version focusing on the Climate Change impact category. The SimaPro specialized software is used for the calculations using its integrated ReCiPe characterization model and the *Ecoinvent* database. The values of energy potentially obtainable by burning the monitored crops or by electricity production in the cogeneration unit from the biogas produced by the anaerobic fermentation process are monitored. Consequently, the need for areas for cultivating individual crops to obtain the same amount of energy is determined. The dissertation also assesses the technological difficulty of planting and treatment of selected energy plants and utilizing their production potential. The results summarize the data characterizing the properties of the individual plants, expressing the greenhouse gas emissions load (v CO₂ eq) in terms of the environmental impact of their cultivation and quantifying the basic economic parameters of their cultivation and energy utilization. Based on the data obtained during several years of cultivation of Szarvasi-1, it can be stated that the predicted yield and energy properties have not been confirmed and its inclusion in the crop rotation plans as an alternative energy plant, even with regard to the economic aspects, cannot be clearly recommended. Compared to maize, however, it brings significant environmental benefits in terms of lower emission load per unit of energy obtained (kg CO₂ eq.GJ⁻¹) and also per unit area (kg CO₂ eq.ha⁻¹).

Key words

Phytomass, RES, assessment of environmental aspects, economy, combustion heat, calorific value, biogas production, greenhouse gas emissions

Obsah

1. Cíl práce	7
1.1 Hypotézy	7
1.1.1 Hypotéza 1	7
1.1.2 Hypotéza 2	7
1.1.3 Hypotéza 3	7
1.1.4 Hypotéza 4	7
1.1.5 Hypotéza 5	7
2. Materiál a metoda	8
2.1 Hodnocení dopadů na životní prostředí	8
2.1.1 Definice cílů a rozsahu práce	8
2.1.1.1 Hranice systému.....	8
2.1.2 Inventarizace	9
2.1.2.1 Metoda: <i>Simplified (streamlined) LCA</i>	9
2.1.3 Stanovení polních emisí	10
2.1.4 Interpretace.....	10
2.2 Polní pokusy	11
2.3 Energetické aspekty	11
2.3.1 Stanovení spalného tepla a výhřevnosti	11
2.3.1.1 Metody pro stanovení hodnot spalného tepla a výhřevnosti	11
2.3.2 Stanovení výtěžnosti bioplynu	11
2.4 Ekonomické aspekty	12
3. Výsledky a diskuse	12
3.1 Fytomasa pro účely BPS	12
3.2 Fytomasa pro účely přímého spalování	18
3.3 Ekonomické hodnocení.....	27
4. Závěr	29
5. Zdroje (dle systému APA)	33

6. Přílohy.....	36
6.1 Seznam grafů	36
6.2 Seznam tabulek	36

1. Cíl práce

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 (zkráceně BPS), či k účelům přímého spalování za účelem výroby elektrické energie. V podmínkách České republiky se jedná především o kukuřici setou, která je v rámci rostlinné výroby nejčastěji využívanou surovinou pro BPS. Pěstování kukuřice se však významně spolupodílí na tvorbě emisí skleníkových plynů. Jednou z možností, jak tyto emise snižovat, je náhrada kukuřice jinou rostlinou vhodnou k těmto účelům. Možnou alternativu představuje pěstování víceletých energetických rostlin, mezi které patří ozdobnice čínská (*Miscanthus x giganteus*), či některé druhy vytrvalých trav. Je známo, že jednou z nich je lesknice (chrastice) rákosovitá (angl. *Reed canary grass*) (*Phalaris arundinacea* L.), ale také v podmínkách ČR nově zaváděný druh *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1. Cílem doktorské práce je porovnat a posoudit vhodnost vybraných energetických rostlin z hlediska výnosové schopnosti, ekonomické efektivity v oblasti pěstování, energetického využití a především emisního zatížení prostředí v rámci jejich životního cyklu.

1.1 Hypotézy

1.1.1 Hypotéza 1

Emise na jednotku produkce ($\text{kg CO}_2 \text{ eq. GJ}^{-1}$) i plochy ($\text{kg CO}_2 \text{ eq. ha}^{-1}$) jsou vzhledem k intenzitě vstupů v rámci pěstebního cyklu extenzivně ošetřovaných rostlin nejnižší v porovnání se zbylými energetickými rostlinami

1.1.2 Hypotéza 2

Vytrvalé porosty mají vyšší produkci fytohmoty v průměru za více let

1.1.3 Hypotéza 3

Plošná potřeba pro získání stejného množství energie je vyšší u vytrvalých rostlin

1.1.4 Hypotéza 4

Výnosový potenciál *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1 není nižší o více než 10 % ve srovnání s kukuřicí setou využívanou pro energetické účely

1.1.5 Hypotéza 5

Ekonomická efektivnost vycházející z tržní produkce je vyšší u vytrvalých rostlin než u kukuřice seté (myšleno v případě pěstování pro účely BPS)

2. Materiál a metoda

2.1 Hodnocení dopadů na životní prostředí

2.1.1 Definice cílů a rozsahu práce

Účelem studie je kvantifikovat emisní zátěž vázající se k pěstebním cyklům vybraných energetických rostlin, stanovit energetickou efektivnost jejich pěstování a zhodnotit ekonomické aspekty. Výsledky studie mohou být využity jako motivační nástroj pro environmentálně šetrnější systémy hospodaření a mohou sloužit jako zdroj informací pro zemědělské subjekty zajímající se o problematiku energetického využití fytomasy. Pro účely této studie je vybrána funkční jednotka (angl. *functional unit*), vztažená na jednotku produkce a jednotku plochy. Jednotku produkce představuje 1 GJ potenciální energie získané přímým spálením fytomasy či výrobou elektřiny v kogenerační jednotce z vytvořeného bioplynu procesem anaerobní fermentace a jednotku plochy pak 1 ha s monokulturou jednotlivých energetických rostlin. Environmentální dopady sledovaných procesů nebyly rozděleny mezi dva či více procesů (ve studii je výsledným produktem veškerý nadzemní rostlinný materiál), proto nebyla uplatněna alokační metoda.

2.1.1.1 Hranice systému

Studie zahrnuje technologické postupy pěstování sledovaných rostlin určených pro výrobu energie sestavené na základě dat primárních (polní pokusy na pozemcích Jihočeské Univerzity v Českých Budějovicích) a sekundárních (data převzata z databáze *Ecoinvent*, odborné literatury a Normativ zemědělských výrobních technologií). Databáze *Ecoinvent* využívá data geograficky se vztahující ke střední Evropě. Rozpětí časového horizontu pro sběr primárních dat je mezi roky 2013 – 2017 a roky 2000 – 2015 pro data sekundární. Zvolené intenzity hnojení a jednotlivé agrotechnické postupy byly stanoveny na základě běžně uplatňovaných intenzivních pěstivelských technologií (Lewandowski et al., 2003; Kavka, 2006; Boehmel et al., 2008; Wrobel et al., 2009; Kuk, 2010; Smith a Slater, 2010; Csete et al. 2011; Blengini et al., 2011; Ust'ak et al., 2012 a Stražil, 2012) s tím, že technologie pěstování *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1 byla stanovena shodně s chrastice rákosovitou (*Phalaris arundinacea* L.). Do modelového systému byly zahrnuty agrotechnické operace od předseťové přípravy, množství spotřebovaného osiva, výroby a užití prostředků na ochranu rostlin, výroby a aplikace hnojiv, až po sklizeň a odvoz hlavního

produktu z místa sklizně. Procesy infrastruktury a odpadového hospodářství byly z této studie vyloučeny.

2.1.2 Inventarizace

Inventarizace (LCI, angl. *life cycle inventory*) je jedna z fází LCA studie, sloužící k vyčíslení množství elementárních toků uvolněných během životního cyklu produktů do životního prostředí. V rámci LCA studií je běžně uplatňován princip modelování „od kolébky do hrobu“ (angl. *cradle-to-grave*), který zahrnuje procesy podílející se na získávání a výrobě potřebných surovin a materiálů, výrobě, používání a odstranění vlastních produktů na které je studie zaměřena. Pro účely této práce je zvolen modelační princip „od kolébky k bráně“ (angl. *cradle-to-gate*), spočívající v kalkulaci životního cyklu produktu od získání surovin po opuštění výrobního procesu (v tomto případě pěstebního procesu). Fáze užívání produktu a jeho odstranění není vzhledem k charakteru této studie v hodnocení zahrnuta.

V této práci byla použita inventarizační data z databáze *Ecoinvent* (Ecoinvent, 2015) v rámci programu SimaPro v. 7.3.2. Data z tohoto programu byla následně modifikována a doplněna o data z praktických polních pokusů (viz. kapitola 2.2) a odborně zaměřené literatury. V průběhu zpracování disertační práce byla databáze zásadním způsobem přestavěna do verze *Ecoinvent 3* (Weidema et al., 2013), avšak výsledky dizertační práce jsou zpracovány na základě její starší verze - *Ecoinvent* v. 2.2.

2.1.2.1 Metoda: *Simplified (streamlined)* LCA

Jako nástroj pro výpočet míry emisní zátěže je využita zjednodušená [angl. *simplified (streamlined)*] metoda posuzování životního cyklu - *Life Cycle Assessment* (LCA), definovaná normami ČSN EN ISO 14 040 (ČNI, 2006a) a ČSN EN ISO 14 044 (CNI, 2006b). Výsledky studie jsou vztaženy na dopadovou kategorii (angl. *Impact Category*) změna klimatu (angl. *Climate change*), vyjádřenou ukazatelem ekvivalentu oxidu uhličitého (CO₂ eq). Výpočet jednotlivých emisních zátěží je proveden softwarem SimaPro v. 7.3.2 s integrovanou metodou ReCiPe Midpoint (H). Funkční jednotku systému představuje 1 GJ energie finálního produktu (sušiny) a jednotka plochy (1 ha). Technologické postupy pěstování sledovaných rostlin byly sestaveny na základě dat primárních (polní pokusy na pozemcích Jihočeské Univerzity v Českých Budějovicích) a sekundárních (data převzata z databáze *Ecoinvent*, odborné literatury a Normativ zemědělských výrobních technologií). V rámci databáze byla využita data geograficky se vztahující ke střední Evropě. Rozpětí časového horizontu pro sběr primárních dat bylo mezi roky 2013 – 2017 a roky 2000 – 2017

pro data sekundární. Zvolené intenzity hnojení a jednotlivé agrotechnické postupy byly stanoveny na základě běžně uplatňovaných intenzivních pěstitelských technologií. Do modelového systému byly zahrnuty agrotechnické operace od předseťové přípravy, množství spotřebovaného osiva, výroby a užití prostředků na ochranu rostlin, výroby a aplikace hnojiv apod. až po sklizeň a odvoz hlavního produktu. Mimo emise, vznikající z výše uvedených vstupů, dochází k produkci tzv. emisí polních (emise N_2O), uvolňovaných po aplikaci dusíkatých (statkových i průmyslových) hnojiv (Niggli, 2009 a Gattinger, 2012). Pro jejich vyčíslení byla využita metodika IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) (De Klein et al., 2006), využitá i ve studii Franks a Hadingham (2012) a Pachauri et al. (2014). Bližší charakteristika metodiky stanovení polních emisí je v kapitole 2.1.3. Disertační práce hodnotí výsledky 5letého pěstování kukuřice seté (*Zea mays* L.), lesknice rákosovité (*Phalaris arundinacea* L.), *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1 a ozdobnice čínské (*Miscanthus x giganteus*) pro energetické účely. Na základě zvolené metodiky a dat, získaných při jejich pěstování (výnosy suché hmoty, vstupy a výstupy pěstebního cyklu), bylo možné sestavit jejich životní cyklus v rámci faremní fáze (od předseťového zpracování půdy po sklizeň, odvoz a zasilážování sklizeného materiálu) a stanovit tak dopad na životní prostředí. Jak již bylo uvedeno, výsledky studie byly vztaženy na dopadovou kategorii změna klimatu (angl. *Climate change*), vyjádřenou ukazatelem ekvivalentu oxidu uhličitého (CO_2 eq = $1x CO_2$; $23x CH_4$; $298x N_2O$), vycházející z rozdílné účinnosti těchto skleníkových plynů (Forster et al., 2007 a Solomon, 2007). V případě emisí N_2O a CH_4 spojených s pěstováním plodin na orné půdě, je jejich potenciál globálního oteplování (100 letý interval) 298-krát a 23-krát vyšší než u CO_2 (IPCC, 2001).

2.1.3 Stanovení polních emisí

Při aplikaci minerálních a organických dusíkatých hnojiv se uvolňují tzv. přímé a nepřímé emise N_2O . Zatížení těmito emisemi bylo stanoveno dle metodiky IPCC Tier 1 (De Klein et al., 2006), doplněné o Český národní report k inventarizaci skleníkových plynů, sekce zemědělství (Exnerova, 2015).

2.1.4 Interpretace

Forma prezentace dat často ovlivňuje jejich význam, a proto se stala interpretace životního cyklu nedílnou částí studií LCA a získala jistá pravidla. Na obecné rovině se interpretace LCA sestává z následujících okruhů činností: strukturalizace dat s ohledem na

nejvýznamnější procesy či skupiny procesů a na nejvýznamnější látky; provedení analýz citlivosti a zhodnocení nejistot studie; diskuse nad smysluplností dat ve vztahu k úplnosti studie a kvalitě vstupních dat a závěrečné shrnutí a formulace realistických doporučení, shrnutých do následujících kroků: 1. identifikace významných zjištění, 2. hodnocení, 3. formulace závěrů a doporučení (Kočí, 2012). Zmíněné body interpretace LCA jsou součástí kapitoly 3.

2.2 Polní pokusy

Pro účely studie byly založeny polní pokusy s porosty vybraných energetických rostlin. Ty sloužily jako zdroj primárních dat při posuzování jejich životního cyklu prostřednictvím LCA, hodnocení energetických a ekonomických aspektů.

2.3 Energetické aspekty

2.3.1 Stanovení spalného tepla a výhřevnosti

Stanovení elementární analýzy bylo realizováno ve spolupráci s Vysokou školou chemicko-technologickou v Praze (VŠCHT), Laboratoř organické elementární analýzy a s Fakultou rybářství a ochrany vod (FROV), Ústav akvakultury a ochrany vod, Laboratoř aplikované hydrobiologie.

Pro účely této práce bylo stanoveno elementární složení fytomasy (CHN-S) prostřednictvím specializovaného analyzátoru Vario El Cube, při použití standardu BBOT (VŠCHT) v Laboratoři organické elementární analýzy. Na základě výsledků elementární analýzy byly stanoveny hodnoty spalného tepla a výhřevnosti jednotlivých vzorků sušiny fytomasy.

2.3.1.1 Metody pro stanovení hodnot spalného tepla a výhřevnosti

Na základě zjištěného elementárního složení bylo stanoveno spalné teplo (Q_s^f) a výhřevnost (Q_u). Hodnoty sledovaných parametrů byly určeny na základě obecně uznávaných formulí (Štindl et al., 2006).

2.3.2 Stanovení výtěžnosti bioplynu

Pro účely této práce byla stanovena výtěžnost bioplynu (resp. metanu) ze substrátu ve spolupráci s certifikovanou Chemickou a mikrobiologickou laboratoří v Písku. Na základě výsledků bylo možno posoudit vhodnost jednotlivých energetických rostlin pro účely bioplynových stanic.

2.4 Ekonomické aspekty

Ekonomická analýza byla vypracována na základě modelování jednotlivých pěstebně-technologických operací a nákladů. Zahrnuje ekonomické hodnocení variabilních, fixních nákladů na stroje a celkových nákladů na 1 ha, výnos hlavního produktu, nákladů na jednotku hlavního produktu (1 GJ získané energie) a zisku při tržní produkci v obou směrech využití. Jako vzor a zdroj informací byly využity obecně uznávané Normativy pro zemědělskou a potravinářskou výrobu. Náklady na pěstování zahrnují všechny náklady spojené s pěstováním energetické rostliny. Hlavními náklady jsou náklady na založení, hnojení, sklizeň, polní a silniční dopravu, kontrolu zaplevelení a režijní náklady. Mnohé z těchto nákladových položek zahrnují náklady na práci a strojní vybavení.

3. Výsledky a diskuse

3.1 Fytomasa pro účely BPS

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 se však významně spolupodílí na tvorbě antropogenních emisí a nese i řadu dalších environmentálních problémů. Jednou z možností, jak tyto dopady snižovat, je náhrada kukuřice jinými rostlinami vhodnými k těmto účelům. Možnou alternativu představuje pěstování víceletých energetických rostlin. Je známo, že jednou z nich je ozdobnice čínská (*Miscanthus x giganteus*), či lesknice rákosovitá (*Phalaris arundinacea* L.), ale také v podmínkách ČR nově zaváděný druh *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1. Tato práce prezentuje výsledky hodnocení environmentální zátěže vznikající při jejich pěstování a též energetické a ekonomické aspekty jejich produkce. Výsledky vycházejí z 5 letého sledování a průměrné hodnoty jsou zaznamenány v souhrnné Tabulka 1.

Tabulka 1 – Souhrnné výsledné hodnoty - Ø ze sklizní – využití pro BPS

Rostlina	Varianta	Sušina (t.ha ⁻¹)	CH ₄ (m ³)	Energie (GJ.ha ⁻¹)	Plocha potřebná pro zisk	kg CO ₂	kg CO ₂	Náklady na GJ energie (Kč.GJ ⁻¹)
					stejného množství energie (ha)	eq.GJ ⁻¹ Ø za 4 roky	eq.GJ ⁻¹ Ø za 10 let	
Kukuřice	-	14,4	5 981	214,1	1	15,2	14,6	158,6
Ozdobnice č.	-	9,6	3 422	122,5	1,7	17,3	8,8	224,0
Lesknice r.	Extenzivní	6,4	2 168	77,6	2,8	9,7	-	202,8
	Intenzivní	8,6	2 920	104,5	2,0	17,4	11	181,2
	Digestát	6,3	2 127	76,1	2,8	22	-	235,1
Szarvasi-1	Extenzivní	8,1	2 961	106,0	2,0	7,1	-	148,4
	Intenzivní	8,6	3 171	113,5	1,9	16	8,14	166,8
	Digestát	7,7	2 833	101,4	2,1	16,5	-	176,4

* Hodnota průměrného výnosu fytomasy nezahrnuje (oproti průměrné emisní zátěži) první neproduktivní rok (rok založení porostu)

Výnosy sušiny jsou vnímány jako základní údaj pro celkové zhodnocení. Nejvyššího \emptyset výnosu fytomasy (resp. sušiny) bylo, dle předpokladů, dosaženo u kukuřice seté (\emptyset 14,4 t.ha⁻¹ sušiny). Její výnosy jsou, v porovnání s vytrvalými rostlinami, v tomto relativně krátkém časovém období, poměrně stabilní. V souhrnné Tabulce č. 19 Tabulka 1 jsou znázorněny souhrnné výsledky dosažené v průběhu prvních 4 let pěstování. V součtu těchto let byla u vytrvalých rostlin získána <1/2 výnosu sušiny v porovnání s kukuřicí setou. U vytrvalých rostlin bylo dosaženo nejvyššího výnosu u ozdobnice čínské (\emptyset 9,6 t.ha⁻¹ sušiny). Z tohoto pohledu je však předčasné srovnávat vybrané vytrvalé rostliny s kukuřicí setou, protože ty naplní svůj výnosový potenciál zpravidla až po třech letech od založení porostu (Csete et al., 2011 a Stražil, 2012), což platí u všech směrů využití. Ten bývá u lesknice rákosovité kolem 12 t.ha⁻¹ sušiny (Ušťak et al., 2012), u ozdobnice čínské 15-25 t.ha⁻¹ sušiny (Lewandowski et al., 2003; Petříková et al., 2006; Stražil, 2009; Menardo et al., 2013 a Heaton et al., 2014) a u Szarvasi-1 15< t.ha⁻¹ sušiny (Csete et al., 2011 a Geißendörfer, 2013). Je třeba brát v potaz i fakt, že C4 rostliny (kukuřice i ozdobnice) jsou chápány jako efektivnější energetické rostliny než C3 trávy (lesknice a Szarvasi-1), díky účinnější fotosyntetické aktivitě (Lewandowski et al., 2003). Ale také je třeba brát v úvahu, že v prvním roce po založení nebyly porosty vytrvalých rostlin sklizeny (na rozdíl od kukuřice seté). Pro hodnocení emisní zátěže, vznikající v průběhu sledovaného 4 letého pěstebního cyklu (Tabulka 1 a Graf 1 a **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**), je však vzhledem k energetickým vstupům nezbytné rok založení porostů trav do hodnocení zahrnout.

Výnosy fytomasy pak hrají rozhodující roli i v celkovém výtěžku metanu (Weiland, 2003 a Amon et al., 2007), stejně jako volba termínu sklizně (Lehtomäki et al., 2008) a silážovatelnost (Klimiuk et al., 2010 a McEniry et al., 2012). Při zkouškách specifické výtěžnosti CH₄ - objem vyrobeného metanu z 1 kg sušiny (m³ CH₄.kg⁻¹ sušiny), byly získány hodnoty zaznamenané v Tabulka 4. V závislosti na výnosech v prvních čtyřech letech pěstování by tak potenciálně bylo u kukuřice získáno až trojnásobné množství metanu (resp. energie GJ.ha⁻¹) v porovnání s vytrvalými rostlinami (Tabulka 5).

V následujících tabulkách (Tabulka 2 a Tabulka 3) jsou zaznamenány hodnoty statistického hodnocení (LSD test) a analýzy variance (Anova), dle něhož byly výnosy sledovaných rostlin v rámci intenzivní varianty ošetření a jejich energetické parametry ovlivněny ($p \leq 0,05$) druhovým faktorem (Tabulka 2). Na základě výsledků analýzy variance (Anova) je statisticky průkazně ($p \leq 0,001$) energetická výtěžnost ovlivněna faktorem druhu z více jak 63 % (Tabulka 3).

Tabulka 2 – LSD test – vliv druhu na průměrný výnos fytomasy ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) a na průměrnou výtěžnost energie ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) ve srovnání intenzivních variant ošetření (kukuřice, ozdobnice č., lesknice r. a Szarvasi-1)

Homogenní skupiny, alfa = 0,05000		Homogenní skupiny, alfa = 0,05000
Chyba: meziskup. PČ = 1218E4, sv = 44,00		Chyba: meziskup. PČ = 2408,0, sv = 44,00
Druh	Ø výnos fytomasy	Ø výtěžnost energie
Kukuřice	14 457,71 b	215,28 b
Ozdobnice č.	9 622,67 a	122,30 a
Lesknice r.	8 582,20 a	104,53 a
Szarvasi-1	8 635,61 a	113,56 a

* Pozn.: PČ = průměrný čtverec; hodnoty označené stejným písmenem nevykazují statisticky průkazné odlišnosti na hladině významnosti $p < 0,05$

Tabulka 3 – Jednorozměrné testy významnosti pro průměrný výnos fytomasy ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) a pro průměrnou výtěžnost energie ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) ve srovnání intenzivních variant ošetření (kukuřice, ozdobnice č., lesknice r., Szarvasi-1) (analýza -Anova)

Faktor	Ø výnos fytomasy			Ø výtěžnost energie		
	DF	PČ	%	DF	PČ	%
Druh (1)	3	9,38 ***	33,87	3	31 728,1 ***	63,86
Rok (2)	2	8,97 *	32,39	2	2 669,0 ***	5,37
1*2	6	7,55 ***	27,27	6	14 983,3 ***	30,16
Chyba	36	1,79	6,47	36	297,6	0,61

* Pozn.: DF = stupeň volnosti; PČ = průměrný čtverec; * = statisticky průkazné $p \leq 0,05$; ** = statisticky průkazné $p \leq 0,01$; *** = statisticky průkazné $p \leq 0,001$; ns = statisticky neprůkazné (*not significant*)

O efektivitě pěstování vybraných rostlin rozhodují i kvalitativní a kvantitativní parametry sklizené fytomasy (resp. siláže). Výsledky tohoto hodnocení jsou zaznamenány v Tabulka 4.

Tabulka 4 - Výsledky hodnocení vzorků siláží

	Szarvasi-1	Lesknice r.	Ozdobnice č.	Kukuřice
CH₄ (l.kg⁻¹ sušiny)	367,2	340,3	355,0	416,0
CH ₄ (l.kg ⁻¹ vzorku)	94,9	102,3	70,2	127,7
CH ₄ (l.kg ⁻¹ organické sušiny)	410,7	377,4	414,7	434,6
Spalné teplo (MJ.kg ⁻¹ sušiny)	14,6	13,5	14,1	16,6
Výhřevnost (MJ.kg ⁻¹ sušiny)	13,1	12,2	12,7	14,9
Sušina (g.kg ⁻¹ vzorku)	240,50	288,00	208,30	283,20
Dusíkaté látky (g.kg ⁻¹ vzorku)	23,89	22,36	20,54	19,89
Vláknina (g.kg ⁻¹ vzorku)	71,40	75,85	74,08	56,02
Popel (g.kg ⁻¹ vzorku)	30,78	30,37	17,31	12,14
K. mléčná (g.kg ⁻¹ vzorku)	19,54	22,20	4,50	17,48
K. octová (g.kg ⁻¹ vzorku)	3,84	3,20	3,87	2,15
K. máselná (g.kg ⁻¹ vzorku)	0,00	0,00	0,00	0,00

* Hodnoty vychází z analýz provedených dle metodiky popsané v kapitole 2.3.2

Kukuřice se aktuálně jeví jako nejperspektivnější rostlina z hlediska výtěžnosti metanu (Klimiuk et al., 2010 a Hermann, 2013). Tomu odpovídají i výsledky této práce, kdy nejvyšší výtěžnosti metanu z jednotky produkce (a též plochy) bylo dosaženo u kukuřice seté, což je patrné i z výsledků v Tabulka 5 (souhrn za 4 roky).

Tabulka 5 - Výtěžnost CH₄ v součtu prvních 4 let pěstování v závislosti na výnosu fytomasy (m³ CH₄ - Σ za 4 roky)

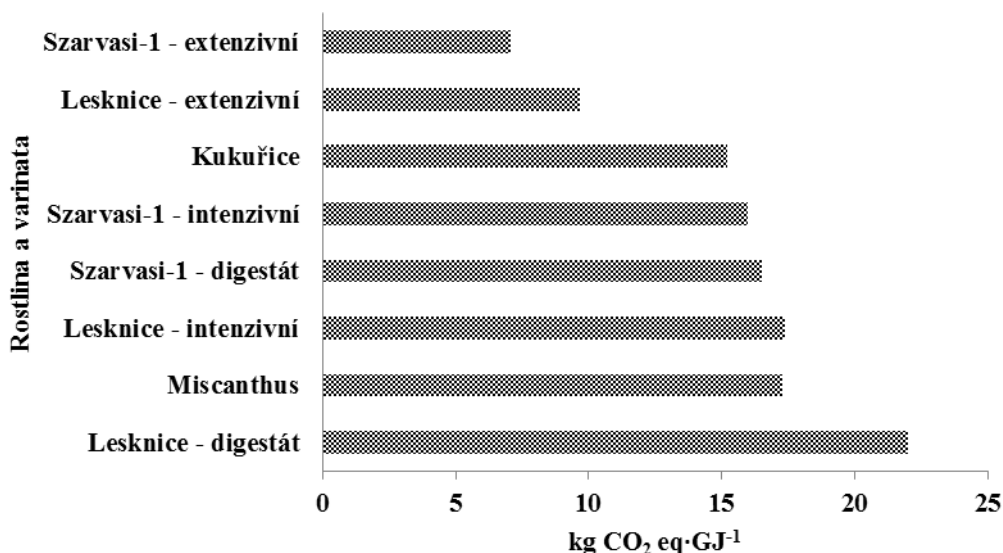
Rostlina	Intenzita ošetření	m ³ CH ₄ - Σ za 4 roky
Kukuřice	-	23 922,1
Ozdobnice č.	-	10 264,5
Lesknice r.	Extenzivní	6 505,5
	Intenzivní	8 761,0
	Digestát	6 380,1
Szarvasi-1	Extenzivní	8 882,8
	Intenzivní	9 512,7
	Digestát	8 497,7

* Ozdobnice čínská - rozpon 1 x 0,5 (rok založení 2013)

Ve vztahu k hodnotám v tabulkách (Tabulka 1 a Tabulka 5) a na základě zvolené metodiky a dostupných dat, bylo možné sestavit životní cyklus vybraných energetických rostlin a

kvantifikovat tak emisní zátěž připadající na zisk 1 GJ energie při zamýšleném využití fytomasy pro účely bioplynových stanic (viz. souhrnná Tabulka 1 a Graf 1) dle zadáním stanovené metodiky. Výsledky studie byly vztaženy na dopadovou kategorii *Climate change*, vyjádřenou ukazatelem ekvivalentu oxidu uhličitého (CO₂ eq).

Graf 1 – Emisní zátěž (kg CO₂ eq) vázaná na jednotku produkce (GJ) – pěstování pro účely BPS



* Do systémových procesů jsou zahrnuty všechny vstupy energií za první 4 roky pěstování. Při hodnocení emisní zátěže na jednotku plochy, nejsou do výpočtů zahrnuty výnosy fytomasy

Graf 1 vyjadřuje hodnoty čtyřletého sledování emisní zátěže (kg CO₂ eq) vázané na jednotku produkce (GJ) při pěstování vybraných energetických rostlin pro účely bioplynové stanice. Z výsledků získaných řešením této práce vyplynulo, že nejnižší emisní zátěž na jednotku produkce je spojená s pěstováním Szarvasi-1 a lesknice rákosovité v extenzivní variantě ošetření (7,1 kg CO₂ eq.GJ⁻¹ a 9,7 kg CO₂ eq.GJ⁻¹). Výsledek tak odpovídá předpokladu [Hypotéza 1: Emise na jednotku produkce (kg CO₂ eq.GJ⁻¹) i plochy (kg CO₂ eq.ha⁻¹) jsou vzhledem k intenzitě vstupů v rámci pěstebního cyklu extenzivně ošetřovaných rostlin nejnižší v porovnání se zbylými energetickými rostlinami], že pěstování trav v extenzivním režimu ošetření bude environmentálně nejšetrnější. Na základě modelací životního cyklu a získaných dat byla nejvyšší emisní zátěž kvantifikována v případě pěstování lesknice rákosovité hnojené digestátem (22,0 kg CO₂ eq.GJ⁻¹). Výsledky odpovídají nejen síle a množství jednotlivých vstupů, ale také objemu získané fytomasy z jednotky plochy (tedy hektarový výnos) a jejich energetickým vlastnostem.

Srovnatelná emisní zátěž pak byla kvantifikována při pěstování kukuřice seté v běžně uplatňovaném konvenčním systému hospodaření (15,2 kg CO₂ eq.GJ⁻¹), dále u Szarvasi-1 v intenzivním režimu ošetření (16,0 kg CO₂ eq.GJ⁻¹) a při pravidelném využívání digestátu (16,5 kg CO₂ eq.GJ⁻¹), u lesknice r. v intenzivním režimu ošetření (17,4 kg CO₂ eq.GJ⁻¹) a při pěstování ozdobnice č. v běžně uplatňovaném konvenčním systému hospodaření (17,3 kg CO₂ eq.GJ⁻¹). Uvážíme-li však využívání vytrvalých porostů po standardní dobu 10 let, produkce skleníkových plynů (resp. environmentální zátěž) na jednotku produkce se výrazně změní. Modelované hodnoty obsahuje Tabulka 1. Emisní zátěže byly kvantifikovány pro předpokládaný desetiletý cyklus pěstování a referenční výnosy fytomasy vychází z dostupných literárních zdrojů (průměrné výnosy sušiny). Vzhledem k nedostatku údajů o víceletém (10+) pěstování lesknice rákosovité a Szarvasi-1 v technologii hnojené digestátem a režimu extenzivním, byly technologie pěstování sestaveny jen pro režimy intenzivního ošetření. Konkrétně byla stanovena emisní zátěž u kukuřice seté na 14,6 kg CO₂ eq.GJ⁻¹ při průměrném výnosu sušiny 15 t.ha⁻¹ sušiny, což je v podstatě odborná hodnota jako v případě sledování čtyřletého. K významnému rozdílu pak došlo při modelování desetiletého pěstebního cyklu lesknice rákosovité, Szarvasi-1 a ozdobnice čínské. V případě desetiletého pěstování lesknice rákosovité a průměrném výnosu 12 t.ha⁻¹ sušiny (což je hodnota odpovídající výsledkům tematicky zaměřených studií), by emisní zátěž odpovídala zhruba 11 kg CO₂ eq.GJ⁻¹ (zhruba o 6,4 kg CO₂ eq.GJ⁻¹ méně než při 4 letém cyklu). Průměrné dluhodobé výnosy ozdobnice čínské a Szarvasi-1 odpovídají hodnotám 15 t.ha⁻¹ sušiny, což by při desetiletém pěstování v intenzivním režimu představovalo environmentální zátěž vyjádřenou 8,8 kg CO₂ eq.GJ⁻¹, resp. 8,1 kg CO₂ eq.GJ⁻¹. To je pak v porovnání s výsledky čtyřletého sledování na zhruba poloviční úrovni.

3.2 Fytomasa pro účely přímého spalování

Jedním z již běžně uplatňovaných trendů ekoenergetiky je cílené pěstování energetických rostlin pro výrobu tepelné energie prostřednictvím jejich přímého spalování (Demirbas, 2004; Malaťák a Vaculík, 2008) ideálně v místních či regionálních topeništích. Pro tyto účely se, nejen v podmínkách České republiky, pěstuje řada vytrvalých druhů rostlin, mezi něž patří i lesknice rákosovitá (*Phalaris arundinacea* L.), či ozdobnice čínská (*Miscanthus x giganteus*). V některých případech pak bylo uvažováno, že lze k těmto účelům využívat i kukuřici setou (např. Diviš, 2011). U kukuřice lze využívat k přímému spalování celou nadzemní fytomasu nebo například jen slámu, obdobně jako dřevní štěpku. Dále lze využít kukuřičná vřetena po

vymláčení zrna. Samotná kukuřičná sláma však obsahuje velký podíl popelovin, což výrazně snižuje její výhřevnost (Koloničný a Hase, 2011). Mezi tyto, možno říci již tradiční, rostliny by se mohla pozvolna zařadit i *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1. V této části práce byly srovnávány parametry týkající se komparace výnosových, environmentálních, energetických a také ekonomických aspektů vztažených k pěstování vybraných energetických rostlin pro účely přímého spalování. Výsledky vycházejí z 5 letého sledování vybraných energetických rostlin. Průměrné hodnoty jsou zaznamenány v souhrnné Tabulka 6.

Tabulka 6 – Souhrnné výsledné hodnoty - Ø ze sklizní – využití pro přímé spalování

Rostlina	Varianta ošetření	Sušina (t.ha⁻¹)	Q_u (MJ.kg⁻¹)	Energie (GJ.ha⁻¹)	Plocha potřebná pro získání stejného množství energie (ha)	kg CO₂ eq.GJ⁻¹ Ø za 4 roky	kg CO₂ eq.GJ⁻¹ Ø za 10 let	Náklady na GJ energie (Kč.GJ⁻¹)
Kukuřice	-	13,0	17,1	222,7	1	14,6	12,7	138,5
Ozdobnice č.	-	8,4	16,4	137,7	1,6	14,0	6,1	129,1
Lesknice r.	Extenzivní	4,3	14,9	64,4	3,5	9,0	-	96,5
	Intenzivní	5,2	15,5	80,1	2,8	21	6,1	99,7
	Digestát	4,6	15,3	69,9	3,2	21,4	-	106,8
Szarvasi-1	Extenzivní	6,1	16,0	96,8	2,3	6,0	-	64,2
	Intenzivní	8,6	16,4	141,2	1,6	11,9	5,8	55,6
	Digestát	8,0	16,0	127,8	1,7	11,7	-	58,4

* Hodnota průměrného výnosu fytomasy nezahrnuje (oproti průměrné emisní zátěži) první neproduktivní rok (rok založení porostu)

Výnosy sušiny jsou vnímány jako základní údaj pro celkové zhodnocení efektivity pěstování. Porosty sledovaných rostlin byly ovlivněny řadou faktorů, které mohou výnosy výrazně ovlivnit. Krom systému ošetření a všech cílených zásahů to byly především půdně klimatické podmínky. Nejvyššího $\bar{\varnothing}$ výnosu fytomasy (resp. sušiny) bylo dosaženo u kukuřice seté (13 t.ha⁻¹ sušiny) (Tabulka 6). V případě porostu kukuřice seté však také docházelo k nejvyšším ztrátám sušiny v průběhu zimního období (v rámci jednotlivých odběrů až 40 %). Důvodem byla lámavost rostlin, opady listů a vysoké ztráty zrna v klasech. U některých druhů trav se tyto ztráty na výnosech mohou v extrémních případech pohybovat taktéž okolo 40 %. Běžně však dochází ke ztrátám odpovídajícím 10-25 %. Např. Havlíčková et al. (2008) uvádí ztráty po zimě dosahující až 40 % u srhy laločnaté a ovsíku vyvýšeného a 25 % u lesknice rákosovité a to v závislosti na průběhu zimy. V základním porovnání bylo dosaženo poměrně dobrých výnosů sušiny u ozdobnice čínské ($\bar{\varnothing}$ 8,4 t.ha⁻¹ sušiny). Strašil (2009) s odkazem na Clifton-Brown et al. (2001) uvádí, že teoretická hodnota celkového fotosynteticky aktivního záření (*FAR*) kolísá z hlediska celoročního příjmu v rámci zemí EU od 1 500 do 3 200 MJ.m⁻² a dává tak rozmezí potenciálního výnosu od 27 t.ha⁻¹ v Irsku, Skotsku a Skandinávii do 59 t.ha⁻¹ ve Středomoří. Praktické výnosy jsou však, i když jsou dodrženy správné postupy pěstování, nižší. Důvodem je hlavně to, že porost není aktivní po celý rok, a tak je využito pouze asi 80 % záření a také to, že plodina nemá většinou dostatek vody během vegetace (Strašil, 2009), což lze pozorovat i u jiných druhů cíleně pěstovaných rostlin. Vliv ročníku (resp. teplotních a srážkových úhrnů) na hektarové výnosy fytomasy je hodnocen v následující tabulce (Tabulka 7).

Tabulka 7 – LSD test – vliv ročníku na průměrnou výtěžnost energie (GJ.ha⁻¹) a průměrný výnos fytomasy (kg.ha⁻¹) ve srovnání intenzivních variant ošetření (kukuřice, ozdobnice č., lesknice r. a Szarvasi-1)

Homogenní skupiny, alfa = 0,05000		Homogenní skupiny, alfa = 0,05000	
Chyba: meziskup. PČ = 1796E4, sv = 45,00		Chyba: meziskup. PČ = 5480,3, sv = 45,00	
Ročník	Ø výnos fytomasy	Ø výtěžnost energie	
2014 (2015)	9 096,53 a	151,45 a	
2015 (2016)	7 599,08 a	124,44 a	
2016 (2017)	9 647,75 a	159,31 a	

* Pozn.: PČ = průměrný čtverec; hodnoty označené stejným písmenem nevykazují statisticky průkazné odlišnosti na hladině významnosti $p < 0,05$; ročník je uváděn jako vegetační rok porostu a v závorce rok, kdy byla provedena sklizeň

Dle statistického hodnocení (LSD test) nebyly výnosy fytomasy sledovaných energetických rostlin v intenzivním režimu pěstování ovlivněny ($p \leq 0,05$) ročníkem (Tabulka 7). Přesto lze sledovat rozdíl v průměrných hodnotách jednotlivých ročníků a jako neslabší hodnotit rok 2015 s vegetačním úhrnem srážek 233,8 mm (366,2 mm Ø 2012 – 2016; 429,48 mm dlouhodobý Ø) a výnosem sušiny 7 599,08 kg.ha⁻¹. V následujících dvou tabulkách (viz Tabulka 8 a Tabulka 9) jsou zaznamenány výsledky statistického hodnocení (LSD test) a analýzy variance (Anova). Dle těchto výsledků byly výnosy sledovaných rostlin v rámci intenzivní varianty ošetření a jejich energetické parametry ovlivněny ($p \leq 0,05$) vlastnostmi hodnocených druhů. Na základě výsledků analýzy variance (Anova) je energetická výtěžnost statisticky průkazně ($p \leq 0,001$) ovlivněna především faktorem druhu (> 63 %) a výnosy fytomasy pak kombinací faktoru druhu a ročníku (téměř 54 %).

Tabulka 8 – LSD test – vliv druhu na průměrný výnos fytomasy ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) a na průměrnou výtěžnost energie ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) ve srovnání intenzivních variant ošetření (kukuřice, ozdobnice č., lesknice r. a Szarvasi-1)

Homogenní skupiny, alfa = 0,05000		Homogenní skupiny, alfa = 0,05000	
Chyba: meziskup. PČ = 1093E4, sv = 44,00		Chyba: meziskup. PČ = 3100,7,0, sv = 44,00	
Druh	Ø výnos fytomasy	Ø výtěžnost energie	
Kukuřice	12 918,83 c	221,17 c	
Ozdobnice č.	8 387,12 a	137,73 a	
Lesknice r.	5 181,12 b	80,15 b	
Szarvasi-1	8 636,55 a	141,20 a	

* Pozn.: PČ = průměrný čtverec; hodnoty označené stejným písmenem nevykazují statisticky průkazné odlišnosti na hladině významnosti $p < 0,05$

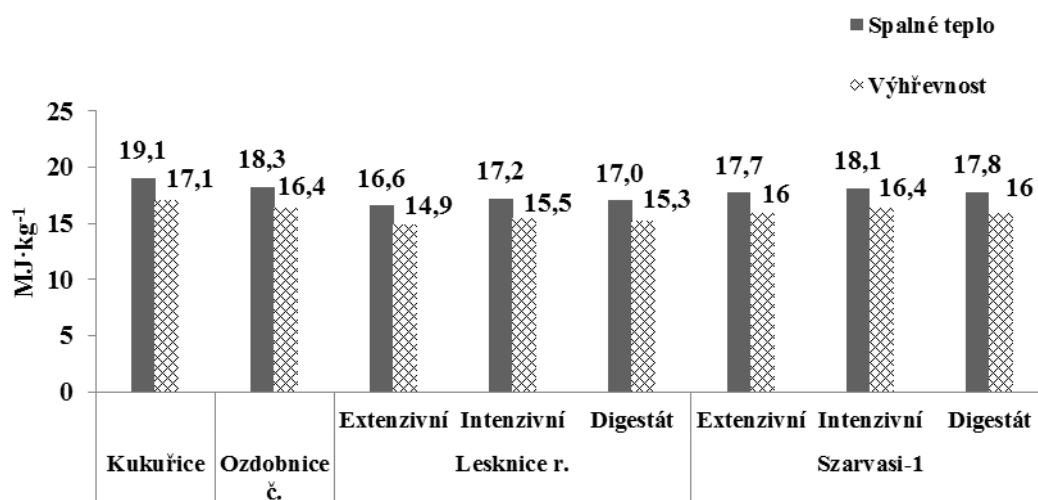
Tabulka 9 – Jednorozměrné testy významnosti pro průměrný výnos fytomasy ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) a na průměrnou výtěžnost energie ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) ve srovnání intenzivních variant ošetření (ozdobnice č., lesknice r., Szarvasi-1) (analýza variance – Anova)

Faktor	DF	Ø výnos fytomasy		DF	Ø výtěžnost energie	
		PČ	%		PČ	%
Druh (1)	3	1,21 ***	10,72	3	40 298 ***	63,28
Rok (2)	2	1,79 **	15,85	2	5 355 ***	8,40
1*2	6	6,09 ***	53,94	6	17 444 ***	27,39
Chyba	36	2,20	19,49	36	585	0,93

* Pozn.: DF = stupeň volnosti; PČ = průměrný čtverec; * = statisticky průkazné $p \leq 0,05$; ** = statisticky průkazné $p \leq 0,01$; *** = statisticky průkazné $p \leq 0,001$; ns = statisticky neprůkazné (*not significant*)

Pro výpočet spalného tepla (Q_s^r) a následně i výhřevnosti (Q_u) bylo nezbytné dosadit obsah popela a kyslíku obsaženého ve vzorcích fytomasy. Ty nebyly zvolenou metodou stanoveny. Vycházelo se z faktu, že stébelnaté rostliny obsahují zhruba 4 - 8 % popelovin. Popel, anorganická část paliva, která zůstane v kotli po spálení organické hmoty, obsahuje většinu minerálních látek původní biomasy. Množství popela v travní biomase se obvykle pohybuje na úrovni 7 % (Nosek, 2016). Obsah kyslíku pak byl následně dopočten a dosazen do vzorce stanoveného metodikou práce (viz kapitola 4.3). Pro porovnání Csete et al. (2011) uvádí hodnoty CHNS u Szarvasi-1 následovně: uhlík 46,59 %; vodík 3,58 %; N 0,98 %; síra 0,21 % a obsah popela 4,4 %. Průměrné hodnoty spalného tepla a výhřevnosti vybraných rostlin, jsou znázorněny v Graf 2.

Graf 2- Spalné teplo a výhřevnost sušiny fytomasy stanovené na základě elementární analýzy



Průměrné hodnoty spalného tepla a též i výhřevnosti se pohybují v hodnotách odpovídajícím i jiným podobně zaměřeným studiím [např. Štindl et al., 2006, který uvádí hodnotu spalného tepla lesknice rákosovité (vypočtenou dle Mendělejevova vzorce) $16,6 \pm 0,20 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny, Petříková et al., 2006 či Ghica et al., 2012]. Csete et al. (2011) uvádí průměrnou výhřevnost Szarvasi-1 $17,9 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny, tedy hodnotu o zhruba 8 % vyšší než vyplývá z výsledků této práce. Hodnota výhřevnosti je však významně závislá na aktuálním obsahu vlhkosti při sklizni a ta se může v rámci jednotlivých studií lišit. Průměrný obsah vlhkosti (resp. vody) ve sklizené fytomase byl 15,3 % (viz Tabulka 10), přičemž Ust'ak et al. (2005) uvádí, že za optimální vlhkost fytomasy při sklizni se považuje rozsah 15–20 % (tzv. standardní sušina). Jedná se o rozhodující faktor, protože výtěžnost energie při zvýšené vlhkosti nad 20 % prudce klesá a zásadně tak ovlivňuje celkový zisk energie a v neposlední řadě i ekonomickou efektivitu. Obsah vlhkosti při sklizni může též značně ovlivnit možnosti skladování, zpracování a využití. Tento problém lze poměrně snadno vyřešit volbou vhodného sklizňového termínu. Např. lesknici rákosovitou je doporučováno sklízet po zimě brzy na jaře, kdy mají rostliny nízký obsah vody 12 – 20 %. Takováto vlhkost je vhodná k přímému lisování do briket nebo pelet, skladování nebo okamžitému spalování (Petříková, 2006). Další velkou výhodou sklizně po zimě je, že množství živin obsažených v rostlinách je na jaře poloviční v porovnání s rostlinami sklizenými například v srpnu. Jako důvod se uvádí translokace živin do kořenové části a jejich vyluhování během zimy (Hutla, 2004).

Tabulka 10 - Ø obsah sušiny ve fytomase při sklizni (%)

	Szarvasi-1	Lesknice r.	Ozdobnice č.	Kukuřice
Ø obsah sušiny ve fytomase	82,4	85,0	88,7	82,6

při sklizni (%)

Na základě údajů o výnosech fytohmoty a výhřevnosti jednotlivých rostlinných materiálů bylo možno stanovit celkový potenciální energetický zisk ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) vycházející z celkového čtyřletého sledování (viz. Tabulka 11).

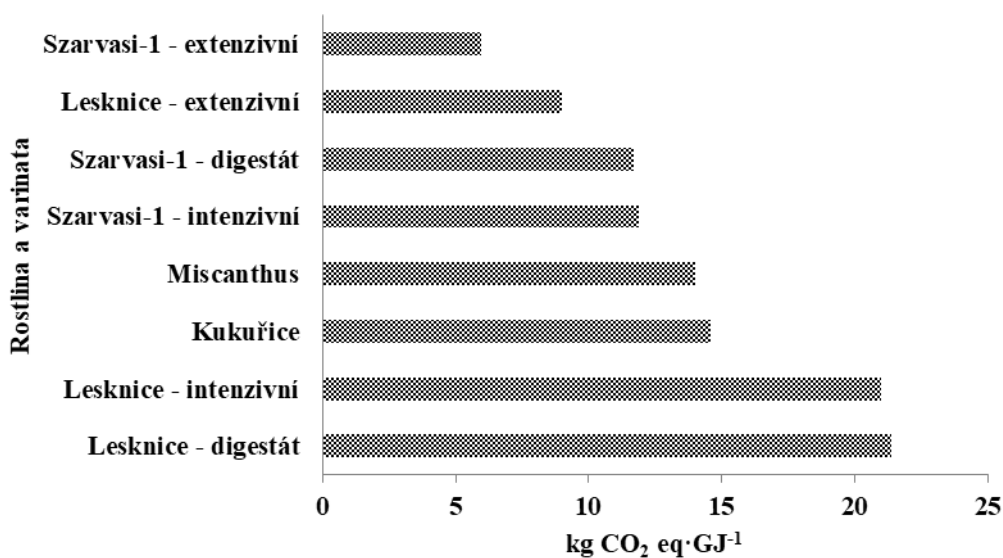
Tabulka 11 - Výtěžnost energie v součtu prvních 4 let pěstování v závislosti na výnosu fytohmoty ($\text{GJ} - \Sigma$ za 4 roky)

Rostlina	Varianta ošetření	GJ - Σ za 4 roky
Kukuřice	-	890,8
Ozdobnice č.	-	413,1
Lesknice r.	Extenzivní	193,2
	Intenzivní	240,4
	Digestát	209,7
Szarvasi-1	Extenzivní	290,3
	Intenzivní	423,7
	Digestát	383,4

* přepočteno na výhřevnost

Ve vztahu k hodnotám v Tabulka 11 byla kvantifikována emisní zátěž připadající na zisk 1 GJ energie při zamýšleném využití fytohmoty pro přímé spalování (viz. souhrnná Tabulka 6 a Graf 3). Výsledky studie byly vztaženy na dopadovou kategorii *Climate change*, vyjádřenou ukazatelem ekvivalentu oxidu uhličitého ($\text{CO}_2 \text{ eq}$).

Graf 3 - Emisní zátěž ($\text{kg CO}_2 \text{ eq}$) vázaná na jednotku produkce (GJ) – pěstování pro účely přímého spalování



Graf 8 Graf 3 vyjadřuje hodnoty čtyřletého sledování emisní zátěže (kg CO₂ eq) vázané na jednotku produkce (GJ) při pěstování vybraných energetických rostlin pro účely přímého spalování. Z výsledků získaných řešením této práce vyplynulo, že k nejnižší emisní zátěži na jednotku produkce dochází při pěstování Szarvasi-1 v extenzivní variantě ošetření (6,0 kg CO₂ eq.GJ⁻¹). O zhruba 50 % vyšší emisní zátěž by dle medolecí generovala produkce energie (1 GJ) při pěstování lesknice r. v extenzivní variantě ošetření (9,0 kg CO₂ eq.GJ⁻¹). Oproti tomu bylo v obou případech dosaženo nejnižších zisků fytomasy. Nejvyšší emisní zátěž byla kvantifikována v případě pěstování lesknice r. v intenzivním režimu (21,0 kg CO₂ eq.GJ⁻¹) a lesknice r. hnojené digestátem (21,4 kg CO₂ eq.GJ⁻¹). Výsledky odpovídají nejen síle a množství jednotlivých vstupů, ale také objemu získané fytomasy z jednotky plochy (tedy hektarový výnos) a jejím energetickým vlastnostem. Obecně lze na základě dosažených hodnot označit lesknici rákosovitou za nejméně produktivní, od čehož se pak výrazně odvíjí i environmentální aspekty jejího pěstování. Srovnatelná emisní zátěž pak byla kvantifikována při pěstování Szarvasi-1 v intenzivním režimu ošetření (11,9 kg CO₂ eq.GJ⁻¹) a v režimu vycházejícím z využívání digestátu (11,7 kg CO₂ eq.GJ⁻¹). V případě pěstování kukuřice seté v běžně uplatňovaném konvenčním systému hospodaření by emisní zátěž odpovídala množství 14,6 kg CO₂ eq.GJ⁻¹ a při pěstování ozdobnice č. v běžně uplatňovaném konvenčním systému hospodaření 14,0 kg CO₂ eq.GJ⁻¹.

Uvážíme-li však využívání vytrvalých porostů po standardní dobu 10 let, stejně tak jako v případě cíleného pěstování fytomasy pro účely BPS, produkce skleníkových plynů (resp. environmentální zátěž) na jednotku produkce se výrazně změní. Modelované hodnoty obsahuje Tabulka 6. Emisní zátěže byly kvantifikovány pro předpokládaný desetiletý cyklus pěstování a referenční výnosy fytomasy vychází z dostupných literárních zdrojů (průměrné výnosy sušiny). Vzhledem k nedostatku údajů o víceletém (10+) pěstování lesknice rákosovité a Szarvasi-1 v technologii hnojené digestátem a režimu extenzivním, byly technologie pěstování sestaveny jen pro režimy intenzivního ošetření. Konkrétně byla stanovena emisní zátěž u kukuřice seté na 12,7 kg CO₂ eq.GJ⁻¹ při průměrném výnosu sušiny 15 t.ha⁻¹ sušiny, což je v podstatě obdorná hodnota jako v případě sledování čtyřletého. K významnému rozdílu pak došlo při modelování desetiletého pěstebního cyklu lesknice rákosovité, Szarvasi-1 a ozdobnice čínské. V případě desetiletého pěstování lesknice rákosovité a průměrném výnosu 12 t.ha⁻¹ sušiny (což je hodnota odpovídající výsledkům tematicky zaměřených studií), by emisní zátěž odpovídala zhruba 6,1 kg CO₂ eq.GJ⁻¹ (zhruba o 14,9 kg CO₂ eq.GJ⁻¹ méně než při 4 letém cyklu). Průměrné dlouhodobé výnosy ozdobnice čínské a Szarvasi-1 odpovídají hodnotám 15 t.ha⁻¹ sušiny, což by při desetiletém pěstování

v intenzivním režimu představovalo environmentální zátěž vyjádřenou 6,1 kg CO₂ eq.GJ⁻¹, resp. 5,8 kg CO₂ eq.GJ⁻¹. To je pak v porovnání s výsledky čtyřletého sledování na zhruba poloviční úrovni.

3.3 Ekonomické hodnocení

Ekonomická efektivita pěstování energetických rostlin již byla hodnocena v některých celoevropských (např. Hanegraaf a Biewinga, 1998; BoÈrjesson, 1999; Ericsson et al., 2009) a v celé řadě tuzemských studií (Strašil et al., 2003; Kavka et al., 2006; Havlíčková et al., 2008; Ochodek et al., 2008; Strašil, 2009 a jiné). Je obecně obtížné porovnávat výsledky z různých studií v důsledku použití rozdílných metod, předpokladů a vymezeného rámce. Ekonomika pěstování je prioritním bodem při rozhodování o zařazení jednotlivých rostlin ve výrobním procesu, to zda budou trvalé energetické plodiny přijaty zemědělci, velmi závisí na finanční rentabilitě těchto plodin (Ericsson et al., 2009). Pro účely této práce byla sestavena modelová ekonomická bilance vycházející z tržní produkce vybraných energetických rostlin a jejich různých intenzit ošetření (viz následující Tabulka 12).

Tabulka 12 - Modelová ekonomická bilance vycházející z tržní produkce

Pěstování fytomasy pro účely BPS					
Druh a varianta ošetření	Roční hektarové náklady (Kč.ha ⁻¹)	Ø výnos siláže (t.ha ⁻¹)	Tržní cena (Kč.t ⁻¹ siláže)	Potenciální zisk (Kč.ha ⁻¹)	+ dotace SAPS
Kukuřice	33 950	46,48	700 - 1 200	12 530	17 311
Ozdobnice č.	27 444	32,13	500 - 1 000	4 686	9 467
Lesknice r. - Extenzivní	15 735	17,23	500 - 1 000	1 495	6 276
Lesknice r. - Intenzivní	18 933	23,52	500 - 1 000	4 587	9 368
Lesknice r. - Digestát	17 891	17,1	500 - 1 000	-791	3 990
Szarvasi-1- Extenzivní	15 735	23,3	500 - 1 000	7 565	12 346
Szarvasi-1- Intenzivní	18 933	24,66	500 - 1 000	5 727	10 508
Szarvasi-1- Digestát	17 891	22,5	500 - 1 000	4 609	9 390

* Jako tržní cena siláže byla brána jednotná hodnota: 1000 Kč.t⁻¹; Hodnota dotace SAPS vychází z Ø za období 2013 - 2016

Pěstování fytomasy pro účely přímého spalování					
Druh a varianta ošetření	Roční hektarové náklady (Kč.ha ⁻¹)	Ø výnos fytomasy (t.ha ⁻¹ ; vlhkost ≤18 %)	Tržní cena (Kč.t ⁻¹ sklizené fytomasy; vlhkost <16 %)	Potenciální zisk (Kč.ha ⁻¹)	+ dotace SAPS
Kukuřice	30 843	15,9	1 050 - 1 250	-10 968	-6 187
Ozdobnice č.	17 780	9,4	1 050 - 1 250	-6 030	-1 249
Lesknice r. - Extenzivní	6 211	5,1	1 050 - 1 250	164	4 945
Lesknice r. - Intenzivní	7 983	6,1	1 050 - 1 250	-1 608	3 173
Lesknice r. - Digestát	7 462	5,4	1 050 - 1 250	-712	4 069
Szarvasi-1- Extenzivní	6 211	7,4	1 050 - 1 250	3 039	7 820
Szarvasi-1- Intenzivní	7 983	10,3	1 050 - 1 250	4 892	9 673
Szarvasi-1- Digestát	7 462	9,7	1 050 - 1 250	4 663	9 444

* Jako tržní cena byla brána jednotná hodnota: 1250 Kč.t⁻¹; Hodnota dotace SAPS vychází z Ø za období 2013 - 2016

* Roční hektarové náklady představují technologické náklady (= variabilní náklady celkem + fixní náklady na stroje) a u vytrvalých rostlin vychází z předpokladu 10 letého pěstování

Na základě dosažených výsledků a ekonomických modelací tržní produkce zaznamenaných v Tabulka 12 lze posoudit ekonomickou efektivitu pěstování vybraných energetických rostlin v obou sledovaných směrech využití. Pokud bychom uvažovali o pěstování vybraných energetických rostlin za účelem prodeje vypěstované fytomasy, představoval by zajímavější variantu prodej pro účely BPS, tedy prodej čerstvě sklizené zelené hmoty. Po vyřešení vhodných odbytových množství, lze sklizenou fytomasu efektivně zpeněžit. Tržní cena čerstvě sklizené fytomasy o obsahu sušiny 28 – 36 % se v posledních letech pohybuje na úrovni 500-1 200 Kč.t⁻¹. Cena přitom odpovídá druhu a kvalitě a nejvyšší bývá zpravidla u fytomasy kukuřice. V Tabulka 12 jsou mimo jiné zaznamenány modelové roční hektarové náklady, které představují technologické náklady (= variabilní náklady celkem + fixní náklady na stroje) a u vytrvalých rostlin vychází z předpokladu 10 letého pěstování. Ve vztahu k průměrným výnosům fytomasy získaných v rámci této studie, by bylo dosaženo, s výjimkou pěstování lesknice rákosovité hnojené digestátem (- 4,4 %), ekonomické rentability odpovídající úrovni 9,5 – 36,9 %, přičemž nejvyšších zisků by bylo dosaženo v případě pěstování kukuřice seté. Na základě těchto modelací pak lze vyvrátit Hypotéza 5 (Možno předpokládat, že ekonomická efektivnost vycházející z tržní produkce je vyšší u vytrvalých rostlin než u kukuřice seté - myšleno pěstování pro účely BPS). Ekonomickou efektivitu by navíc výrazně zlepšila dotace SAPS, která za sledované období (2013 – 2016) dosahovala průměrné výše 4 780,80 Kč.ha⁻¹. V případě produkce fytomasy energetických rostlin pro účely přímého spalování se ukazatele tržní produkce jeví v některých případech neefektivně. Bez dotační podpory by bylo ekonomicky efektivní jen pěstování Szarvasi-1, bez ohledu na intenzitu ošetření.

4. Závěr

Cílem doktorské práce bylo porovnat a posoudit vhodnost vybraných energetických rostlin z hlediska výnosových aspektů, ekonomické efektivnosti v oblasti pěstování, energetického potenciálu a především emisního zatížení prostředí v rámci jejich životního cyklu. Záměrem sledování bylo posouzení možnosti nahrazení kukuřice seté jinou rostlinou, též vhodnou pro energetické účely. Nejvýznamnější zdrojem rostlinné fytomasy pro většinu dnešních bioplynových stanic je stále kukuřičná siláž. Pěstování kukuřice s sebou však nese významné negativní environmentální dopady. Krom všeobecně známé erozní ohroženosti půd se jedná o vysoké energetické vstupy v podobě minerálních hnojiv, látek na ochranu rostlin a jiné doprovodné procesy, které pěstování této jednoleté rostliny obnáší. To vše přispívá

k navyšování produkce skleníkových plynů (GHG) v průběhu pěstebního cyklu. Vzhledem k tomu je pak potřeba hledat způsoby, jak produkci emisí GHG snižovat. Jednou z cest může být změna pěstební technologie nebo zařazení jiných, k účelům BPS či k účelům přímého spalování vhodných, energetických rostlin.

Předpokládalo se, že vytrvalé energetické druhy, jako je lesknice rákosovitá (angl. *Reed canary grass*) *Phalaris arundinacea* L., ozdobnice čínská (*Miscanthus x giganteus*) a zejména v podmínkách ČR nově zaváděná *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1, lze v delším časovém horizontu pěstovat se stabilním a rentabilním výnosem a zároveň docílit významného snížení emisní zátěže na jednotku produkce i plochy právě v porovnání s kukuřicí setou.

Rozhodujícím faktorem při kvantifikaci emisní zátěže (CO₂ eq) v rámci faremní fáze prostřednictvím *simplified* LCA a dopadové kategorie *Climate change* je pak zvolená intenzita hnojení a výnos fytohmoty (resp. výtěžnost energie) na jednotku plochy. V porovnání všech sledovaných rostlin v prvních 4 letech pěstování bylo z tohoto pohledu nejlepších výsledků dosaženo u kukuřice seté (v obou sledovaných směrech využití). Plošná potřeba pro získání stejného množství energie jako z 1 ha kukuřice by tak byla při pěstování sledovaných vytrvalých rostlin poměrně vysoká (1,6 až 3,5 ha). Tím se také potvrdila Hypotéza 3 (Plošná potřeba pro získání stejného množství energie je vyšší u vytrvalých rostlin). Na druhou stranu vysoké energetické vstupy při pěstování kukuřice v podobě každoročních agrotechnických zásahů, užívání značného množství především dusíkatých hnojiv a přípravků pro chemickou ochranu rostlin s sebou nesou i jednu z nejvyšších emisních zátěží na jednotku energie (1 GJ) a především pak na jednotku plochy (1 ha) v porovnání se sledovanými vytrvalými rostlinami. Při správně zvolené intenzitě ošetření je dle dostupných informací možné při pěstování Szarvasi-1 dosáhnout rentabilních výnosů odpovídajících hodnotám 40-60 t.ha⁻¹ zelené hmoty při zhruba 30% obsahu sušiny (tedy až 18 t.ha⁻¹ sušiny). Například v polních pokusech provedených v rámci této práce bylo již v 1. produkčním roce dosaženo výnosů suché hmoty 8,8 - 9,8 t.ha⁻¹ u Szarvasi-1. V letech následných však porosty vykazovaly tendenci k řídnutí, což se projevovalo kolísavě sníženými výnosy dosahujícím v průměru sledovaných let 6,1 - 7,6 t.ha⁻¹ sušiny. K tomu však přispělo i nerovnoměrné rozložení srážek během vegetačních sezón. Na základě těchto výsledků bylo možné vyvrátit Hypotéza 4, tedy že výnosový potenciál *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1 není nižší o více než 10 % ve srovnání s kukuřicí setou využívanou pro energetické účely. Vzhledem ke zjištění, že se výnosová hladina s přibíhajícím roky pěstování výrazněji nezvyšovala ani u porostů lesknice rákosovité a ozdobnice čínské, lze za nepotvrzenou považovat také Hypotéza 2 (Vytrvalé

porosty mají vyšší produkci fytomasy v průměru za více let). U emisní zátěže hodnocené na jednotku plochy ($\text{kg CO}_2 \text{ eq. ha}^{-1}$ a rok), jsou emise u obou druhů energetických trav o zhruba 50 - 95 % nižší v porovnání s kukuřicí setou v závislosti na technologii pěstování a roku (rok založení/rok produkční). Z dílčích systémových procesů tvoří největší emisní zátěž, vznikající při výrobě dusíkatých hnojiv, polní emise N_2O (generované po aplikaci N hnojiv) a částečně i provedené agrotechnické operace. Případnou mitigaci $\text{CO}_2 \text{ eq}$ při pěstování kukuřice či vybraných energetických trav pro účely BPS, či účely přímého spalování by bylo možno iniciovat prostřednictvím kvalitnějšího managementu minerálních N hnojiv, změnou pěstební technologie, či zařazením jiných, environmentálně šetrných, energetických rostlin. Pěstování těchto vytrvalých energetických trav navíc přináší výhody v podobě protierozní ochrany půdy, podpory biodiverzity a při dosažení odpovídajících výnosů sušiny ($> 12 \text{ t. ha}^{-1}$ sušiny) i ekonomické efektivnosti. Ekonomická efektivnost pěstování energetických rostlin je složitý problém, o kterém se stále diskutuje. Činnosti spojené s pěstováním a využitím těchto plodin se dotýkají mnoha hospodářských odvětví (zemědělství, zpracovatelský a lehký průmysl, strojírenství, energetika atd.). Tento problém zasahuje i do oblasti životního prostředí. Některé operace lze poměrně přesně ekonomicky určit, zatímco jiné jsou velmi variabilní. Z toho plynou i výsledky ekonomické modelace provedené pro potřeby této práce. Z výsledků vyplynulo, že nejvýraznější ekonomické efektivity by bylo teoreticky dosaženo při pěstování sledovaných rostlin s cílem prodeje získané fytomasy pro účely bioplynové stanice. V případě produkce fytomasy energetických rostlin pro účely přímého spalování se ukazatele tržní produkce jeví v mnoha případech neefektivně, především díky nízkým výnosům fytomasy a poměrně vysokým vstupním nákladům. Bez dotační podpory by bylo ekonomicky efektivní jen pěstování Szarvasi-1 a to bez ohledu na intenzitu ošetření, avšak s poměrně malými zisky. Pěstování kukuřice seté pro účely přímého spalování nutno hodnotit jako silně nerentabilní, neefektivní a environmentálně nešetrné. Jedním z hlavních úkolů této práce pak bylo shrnout poznatky o Szarvasi-1, jakožto o v podmínkách ČR nově zaváděné energetické rostlině a zhodnotit možnosti jejího uplanění na základě jejích environmentálních, energetických a ekonomických aspektů. *Elymus elongatus* subsp. *Ponticus* cv. Szarvasi-1 byla v nedávné době zaváděna v některých zemích Evropy (zejména Maďarsko, Německo) jako alternativní energetická rostlina se slibným výnosovým potenciálem. Výnos fytomasy energetické trávy Szarvasi-1 závisí, tak jako u většiny cíleně pěstovaných rostlin, především na dostupnosti živin, struktuře půdy a dostupnosti vody. V podmínkách s běžnou půdní zásobeností živin a odpovídajícím úhrnem srážek, lze dosahovat průměrného výnosu odpovídajícímu $10\text{-}15 \text{ t. ha}^{-1}$ sušiny s velkými prostorovými a časovými variacemi v závislosti na průběhu počasí a

aktuálních podmínkách prostředí. Přes údaje některých studií, které uvádí výnosy fytomasy dosahující hodnot až 18 t.ha⁻¹ sušiny, se v případě této práce nepodařilo dosáhnout ani hranice rentability, která se pohybuje v rozmezí 10 - 14 t.ha⁻¹ sušiny v závislosti na intenzitě vstupů. Jak ukazují výsledky tohoto sledování, výnosy Szarvasi-1 (v průměru 4 let 6,1 - 8,6 t.ha⁻¹) byly silně pod touto hranicí. Následně provedené kvalitativní analýzy fytomasy Szarvasi-1 ukázaly na možnosti uplatnění v oblasti výroby bioplynu (resp. metanu) a stejně tak i pro účely přímého spalování z pohledu získané energie z jednotky produkce ve srovnání s rostlinami pěstovanými pro tyto účely v podmínkách ČR, ale rozhodujícím faktorem zůstává zisk fytomasy z jednotky plochy a celkové ekonomické zhodnocení. Na základě touto prací dosažených výsledků tak nelze přes významné environmentální benefity pěstování Szarvasi-1 zcela doporučit. Úvahy o zařazení této vytrvalé rostliny by vznášely otázku, zda upřednostňovat ekonomické či environmentální zájmy.

5. Zdroje (dle systému APA)

- [1] Niggli, U., Fließbach, A., Hepperly, P., & Scialabba, N. (2009). Low greenhouse gas agriculture: mitigation and adaptation potential of sustainable farming systems. *Ökologie & Landbau*, 141, 32-33.
- [2] Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., ... & Dubash, N. K. (2014). Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (p. 151). IPCC.
- [3] Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Machmüller, A., Hopfner-Sixt, K., Bodiroza, V., Schreiner, M. (2007). Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations. *Bioresource technology*, 98(17), 3204-3212.
- [4] BoÈrjesson, P. (1999). Erratum to "Environmental effects of energy crop cultivation in Sweden Ð II: Economic evaluation"[*Biomass and Bioenergy* 16 (1999) 155]. *Biomass and Bioenergy*, 16(155), 1.
- [5] Clifton-Brown, J. C., Lewandowski, I., Andersson, B., Basch, G., Christian, D. G., Kjeldsen, J. B., ... & Tayebi, K. (2001). Performance of 15 *Miscanthus* genotypes at five sites in Europe. *Agronomy Journal*, 93(5), 1013-1019.
- [6] Csete, S., Farkas, Á., Borhidi, A., Szalontai, B., Salamon-Albert, É., Walcz, I., ... & Pál, R. W. (2011). Tall Wheatgrass Cultivar Szarvasi-1 (*Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1) as a Potential Energy Crop for Semi-Arid Lands of Eastern Europe. INTECH Open Access Publisher.
- [7] ČNI. ČSN EN ISO 14040 (2006a). Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Zásady a osnova. Český normalizační institut.
- [8] ČNI. ČSN EN ISO 14044 (2006b). Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Požadavky a směrnice. Český normalizační institut.
- [9] De Klein, C., Novoa, R. S., Ogle, S., Smith, K. A., Rochette, P., Wirth, T. C., ... & Williams, S. A. (2006). N₂O emissions from managed soils, and CO₂ emissions from lime and urea application. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, 4, 1-54.
- [10] Demirbas, A. (2004). Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in energy and combustion science*, 30(2), 219-230.
- [11] Diviš, J. (2011). Pěstování kukuřice k energetickým účelům. Výzkumný ústav SILVA TAROUČY pro krajinu a okrasné zahradnictví, vvi, 27 p.
- [12] Ecoinvent (2015). Ecoinvent Centre [online]. [cit. 2015-01-07]. Dostupné z: <http://www.ecoinvent.org/database/database.htm>

- [13] Ericsson, K., Rosenqvist, H., & Nilsson, L. J. (2009). Energy crop production costs in the EU. *Biomass and bioenergy*, 33(11), 1577-1586.
- [14] Exnerova, Z. (2015). Agriculture. National Greenhouse Gas Inventory Report of the Czech Republic: Submission under the UNFCCC. Reported Inventories 1990-2013 (Eds E. Krtkova, D. T. Grozeva, M. Beck). Prague, Czech Republic.
- [15] Forster, P., Ramaswamy, V., Artaxo, P., Berntsen, T., Betts, R., Fahey, D. W., ... & Nganga, J. (2007). Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Chapter 2. In *Climate Change 2007. The Physical Science Basis*.
- [16] Franks, J. R., Hadingham, B. (2012). Reducing greenhouse gas emissions from agriculture: avoiding trivial solutions to a global problem. *Land Use Policy*, 29(4), 727-736.
- [17] Gattinger, A., Muller, A., Haeni, M., Skinner, C., Fliessbach, A., Buchmann, N., ... & Niggli, U. (2012). Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(44), 18226-18231.
- [18] Geißendörfer, H. (2013). Perennierende Gräser - Leistungsstarke Alternative zu Energiemais?. In: *Landwirtschaftliches Bildungszentrum Triesdorf* [online]. Triesdorf, [cit. 2014-02-24]. Dostupné z: http://www.aelfwb.bayern.de/erwerbsskombination/41827/linkurl_0_3.pdf
- [19] Ghica, A., Dragomir, C., Samfira, I. (2012). *Phalaris Arundinacea* a further energetic species. *Research Journal of Agricultural Science*, 44(4), 46-51.
- [20] Hanegraaf, M. C., & Biewinga, E. E. (1998). Assessing the ecological and economic sustainability of energy crops. *Biomass and Bioenergy*, 15(4), 345-355.
- [21] Havlíčková, K., Weger, J., Boháč, J., Štěrba, Z., Hutla, P., Knápek, J., Vašíček, J., Stražil, Z., Kajan, M., Lhotský, R. (2008). Rostlinná biomasa jako zdroj energie, Rostlinná biomasa jako zdroj energie. *VUKOZ Pruhonice*, 83 p.
- [22] Heaton, E. A., Boersma, N., Caveny, J. D., Voigt, T. B., & Dohleman, F. G. (2014). *Miscanthus (Miscanthus × giganteus) for biofuel production*. Extension America's Research-based Learning Network SUA.
- [23] Hutla, P. (2004). Chrástice rákosovitá - pěstování a možnosti využití. *Biom.cz* [online]. 2004-03-10 [cit. 2014-11-30]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/chrastice-rakosovita-pestovani-a-moznosti-vyuziti>>. ISSN: 1801-2655.
- [24] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [25] Kavka, M., Beneš, V., Brant, V., a kol. (2006). *Normativy zemědělských výrobních technologií*. ÚZPI Praha, 376 s.
- [26] Klimiuk, E., Pokój, T., Budzyński, W., & Dubis, B. (2010). Theoretical and observed biogas production from plant biomass of different fibre contents. *Bioresource technology*, 101(24), 9527-9535.

- [27] Kočí, V. (2012). Na LCA založené srovnání environmentálních dopadů obnovitelných, LCA studio, Ústav chemie ochrany prostředí, VŠCHT Praha, 111 p.
- [28] Koloničný, J., Hase, V. (2011). Využití rostlinné biomasy v energetice. Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava.
- [29] Kukk, L., Astover, A., Roostalu, H., Rossner, H., & Tamm, I. (2010). The dependence of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) energy efficiency and profitability on nitrogen fertilization and transportation distance. In *Agronomy Research* (Vol. 8, No. Special 1, pp. 123-133). Estonian Research Institute of Agriculture.
- [30] Lewandowski, I., Scurlock, J. M., 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(4), 335-361.
- [31] Malaťák, J., Vaculík, P. (2008). *Biomasa pro výrobu energie (Biomass for Energy Production)*. Prague, Czech University of Life Sciences Prague, 206.
- [32] McEniry, J., Finnan, J., King, C., & O'Kiely, P. (2012). The effect of ensiling and fractionation on the suitability for combustion of three common grassland species at sequential harvest dates. *Grass and Forage Science*, 67(4), 559-568.
- [33] 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.
- [34] Nosek, V. (2016). *Ekonomická analýza využití biomasy v malých zdrojích*. CVUT, Bakalářská práce, 47 p.
- [35] Ochodek, T., Koloničný, J., Branc, M. (2008). *Ekonomika při energetickém využívání biomasy*. Ostrava, 116 s. ISBN 978-80-248-1751-4 Operační program životní prostředí [online]. www.opzp.cz.
- [36] Petříková, V., Sladký, V., Stražil, Z., Šafařík, M., Uš'ak, S., Váňa, J. (2006): *Energetické plodiny*. 1. vyd. Praha: Profi Press, 127 p.
- [37] Smith, R., & Slater, F. M. (2010). The effects of organic and inorganic fertilizer applications to *Miscanthus*× *giganteus*, *Arundo donax* and *Phalaris arundinacea*, when grown as energy crops in Wales, UK. *Gcb Bioenergy*, 2(4), 169-179.
- [38] Solomon, S. (Ed.). (2007). *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC* (Vol. 4). Cambridge University Press.
- [39] Stražil, Z. (2009). *Základy pěstování a možnosti využití ozdobnice (Miscanthus)*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2009, 52 p.
- [40] Stražil, Z; Moudrý, J; Kalinová, J. (2003). Produkce a ekonomika vybraných energetických rostlin. In *Sborník z konference Udržitelné poľnohospodárstvo a rozvoj vidieka*. p. 333-335.
- [41] Stražil, Z. (2012). Evaluation of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) grown for energy use. *Research in Agricultural Engineering*, 58(1), 119-130.

- [42] Štindl, P., Kolář, L., Kužel, S. (2006). Spalné teplo biomasy a jeho výpočet z elementárního složení. In: Agroregion 2006 – Zvyšování konkurenceschopnosti v zemědělství (Půda – základ konkurenceschopnosti zemědělství), pp. 136–140, České Budějovice, Czech Republic.
- [43] Ust'ak, S. (2005). Technické a ekonomické aspekty pěstování a využití biomasy pro energetické a průmyslové účely. In Zemědělská technika a biomasa 2005. p. 35-40.
- [44] 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.
- [45] Weidema, B. P., Bauer, C., Hischier, R., Mutel, C., Nemecek, T., Reinhard, J., ... & Wernet, G. (2013). Overview and methodology: Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- [46] Weiland, P. (2003). Production and energetic use of biogas from energy crops and wastes in Germany. *Applied biochemistry and biotechnology*, 109(1-3), 263-274.
- [47] Wrobel, C., Coulman, B. E., & Smith, D. L. (2009). The potential use of reed canarygrass (*Phalaris arundinacea* L.) as a biofuel crop. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B–Soil and Plant Science*, 59(1), 1-18.

6. Přílohy

6.1 Seznam grafů

Graf 1 – Emisní zátěž (kg CO ₂ eq) vázaná na jednotku produkce (GJ) – pěstování pro účely BPS.....	17
Graf 2- Spalné teplo a výhřevnost sušiny fytomasy stanovené na základě elementární analýzy	24
Graf 3 - Emisní zátěž (kg CO ₂ eq) vázaná na jednotku produkce (GJ) – pěstování pro účely přímého spalování	25

6.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Souhrnné výsledné hodnoty - Ø ze sklizní – využití pro BPS	13
Tabulka 2 – LSD test – vliv druhu na průměrný výnos fytomasy (kg.ha ⁻¹) a na průměrnou výtěžnost energie (GJ.ha ⁻¹) ve srovnání intenzivních variant ošetření (kukuřice, ozdobnice č., lesknice r. a Szarvasi-1)	15

Tabulka 3 – Jednorozměrné testy významnosti pro průměrný výnos fytomasy ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) a pro průměrnou výtěžnost energie ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) ve srovnání intenzivních variant ošetření (kukuřice, ozdobnice č., lesknice r., Szarvasi-1) (analýza -Anova)	15
Tabulka 4 - Výsledky hodnocení vzorků siláží	16
Tabulka 5 - Výtěžnost CH_4 v součtu prvních 4 let pěstování v závislosti na výnosu fytomasy ($\text{m}^3 \text{CH}_4 - \Sigma$ za 4 roky)	16
Tabulka 6 – Souhrnné výsledné hodnoty - Ø ze sklizní – využití pro přímé spalování	20
Tabulka 7 – LSD test – vliv ročníku na průměrnou výtěžnost energie ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) a průměrný výnos fytomasy ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) ve srovnání intenzivních variant ošetření (kukuřice, ozdobnice č., lesknice r. a Szarvasi-1)	22
Tabulka 8 – LSD test – vliv druhu na průměrný výnos fytomasy ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) a na průměrnou výtěžnost energie ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) ve srovnání intenzivních variant ošetření (kukuřice, ozdobnice č., lesknice r. a Szarvasi-1)	23
Tabulka 9 – Jednorozměrné testy významnosti pro průměrný výnos fytomasy ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) a na průměrnou výtěžnost energie ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$) ve srovnání intenzivních variant ošetření (ozdobnice č., lesknice r., Szarvasi-1) (analýza variance – Anova)	23
Tabulka 10 - Ø obsah sušiny ve fytomase při sklizni (%)	24
Tabulka 11 - Výtěžnost energie v součtu prvních 4 let pěstování v závislosti na výnosu fytomasy ($\text{GJ} - \Sigma$ za 4 roky)	25
Tabulka 12 - Modelová ekonomická bilance vycházející z tržní produkce.....	28

7. Životopis

7.1 Osobní údaje

Jméno a příjmení: **JAROSLAV BERNAS**
Adresa: Obránců míru 1248, Strakonice 386 01
Telefonní spojení: (+420) 721 975 631
E-mail: bernas@zf.jcu.cz
Datum narození: 10. 9. 1987
Národnost: Česká
Rodinný stav: svobodný



7.2 Vzdělání

Období (od-do): 2003 - 2007
Název a typ organizace: Střední zemědělská škola v Písku, Čelakovského 200, 397 01 Písek
Obor: Ekologie a ochrana krajiny
Získané vzdělání: Maturita

Období (od-do): 2007 - 2010
Název a typ organizace: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, studijní program B4131 / Zemědělství, studijní obor 4106R019 / Agroekologie
Téma bakalářské práce: Energetické využití trav
Vedoucí práce: Ing. Jan Moudrý, Ph.D.
Získaný titul: Bc.

Období (od-do): 2010 - 2012
Název a typ organizace: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, studijní program N4101 / Zemědělské inženýrství, studijní obor 4106T019 / Agroekologie
Téma diplomové práce: Význam trvalých travních porostů a suchovzdornost vybraných druhů trav - ovsík vyvýšený (*Arrhenatherum elatius* L.) a srha laločnatá (*Dactylis glomerata* L.)
Vedoucí práce: Ing. Jan Moudrý, Ph.D.
Získaný titul: Ing. s oceněním děkana ZF

Období (od-do): 2012 – 2017
Název a typ organizace: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, P 4102 Fytotechnika, 4102V008 Speciální produkce rostlinná
Téma disertační práce: Environmentální, energetické a ekonomické aspekty pěstování vybraných energetických rostlin (*Environmental, energy and economic aspects of cultivation of selected energy plants*)
Vedoucí disertační práce: doc. Ing. Jan Moudrý, Ph.D.; prof. Ing. Jan Moudrý, CSc.
Získaný titul: Momentálně stále studuji

7.3 Osobní schopnosti a dovednosti

Mateřský jazyk: Český jazyk

Cizí jazyky: Anglický jazyk – B2/C1, Německý jazyk – A2

Technické schopnosti: Dobrá znalost programů sady MS Office

Další: Řidičský průkaz B
Vyšší odborná zkouška z myslivosti
Člen ČRS

7.4 Zahraniční studium:

- **Erasmus Intensive Programme** – Ecological production systems for environmental and human health in Nitra, Slovakia
- **University internship:** Hue University of Agriculture and Forestry, Faculty of Agronomy, 102 Phung Hung Street, Hue City, Vietnam
- **University internship:** University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, Faculty of Agriculture, Aleea Mihail Sadoveanu nr. 3, Iasi, 700490
- **EPOS (Erasmus Plus for Organic Sector)** - Innovative Education towards the Needs of the Organic Sector (Project No 2014-1-PL01-KA203-003392) from 25th July to 7th August 2015, Poland - Warsaw
- **Stady Trip, Swizerland, The Research Institute of Organic Agriculture - FIBL**
- **University internship:** University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, Faculty of Agriculture, Aleea Mihail Sadoveanu nr. 3, Iasi, 700490
- **“Teaching, Didactics and Environmental Issues in Bilateral Cooperation in Education”** within the programme CZ07 Bilateral Scholarship Programme. Norway, Queen Maud University Collage of Early Childhood Education; Norwegian University of Science and Technology; Hogskulen for landbruk og bygdeutvikling (Faculty of Rural Development); Norwegian University of Life Science

7.5 Účast na vědecko-výzkumných projektech:

- **INTERREG IV-EUS-M00250:** „UMBESA – trvale udržitelný jídelníček (realizace trvalé udržitelnosti ve stravovacích zařízeních za zvláštního zohlednění regionálních, sezónních a ekologických potravin a čerstvě připravených jídel)“
- **GAJU 063/2013/Z - Multifunkční zemědělství** – nové přístupy a techniky ve využívání genetických zdrojů, ochraně biodiverzity, harmonizaci produkčních a mimoprodukčních funkcí
- **EUS AT CZ - M 0800 – SUKI** – Possibilities of big kitchens for decreasing of CO₂ emissions (measure, frame conditions, borders) - Sustainable Kitchen. (2009-2011)
- **MSMT, 2B06131 – Nepotravinářské využití fytohmoty v energetice (2006-2011)**
- **Science ZOOM** – Popularizace vědy a výzkumu na JU; číslo projektu: CZ.1.07/2.3.00/35.0001
- **Cook.org** - Organic Cooks in Public Settings
- **Revitalist** - Social Farming mentor training, This project has been funded with support from the European Commission

7.6 Účast na vědecko-výzkumných konferencích a seminářích (jen nejvýznamnější):

- Účast na Final_Conference_MAiE- Project (Lisabon, 2013) – Sociální zemědělství
- Reprezentace ZF JU na festivalu „Naše pole“ - Nabočany
- **Mezinárodní konference:** *Proceedings of International PhD Students Conference*. Mendel University in Brno - účast s příspěvkem Greenhouse gasses emissions during maize growing for energy purposes. Umístění: 2. místo v sekci Agroekologie
- **International meeting; cook.org** - Organic cooks in public settings - Německo
- **International meeting; cook.org** - Organic cooks in public settings - ZF JU v Českých Budějovicích
- **The potential of organic Farming to mitigate climate change** - Research Institute of Organic Agriculture **FiBL**, Frick AG Farming association Breiter, Tuesday September 15th 2015 to Thursday September 17th 2015
- **International conference:** *Proceedings of International PhD Students Conference*. Mendel University in Brno - účast s příspěvkem Miscanthus – Possibility of greenhouse gas emission mitigation. Umístění: 1. místo v sekci Agroekologie
- **International conference:** International Conference on Natural Science and Environment, New York, USA, Contribution: Technological quality of spelt wheat and environmental impact of spelt wheat growing
- **International conference:** „6th international conference on trends in agricultural engineering“, The Czech Republic, Prague, příspěvek: „Cultivation of tall wheatgrass and reed canary grass for energy purposes in terms of environmental impacts“
- **International conference:** 3rd International Conference on Chemical Engineering Romania, Iași, 09 – 11 November 2016, příspěvek: „Emission footprint of plants grown for direct combustion“
- **Organizátor a účastník kurzu: Rétorika - Alfred Strejček.** Místo konání: ZF JU v ČB.
- **International Peer-Review Event - Profarm**, Professional and personal empowerment in **Social farming**, Tennental (Stuttgart) 13-16 march 2017
- **International conference ICCSE**, Tashkent, Uzbekistan, 29-30. Března 2017, Conference of 172nd ICCBE - 2017
- **Cook.org** – Organic Cooks in Public Settings; Pilot Course for testing ECVET-curriculum and other project results 08.05-13. 05. 2017, Velling/Denmark
- **KA 5** Systémové posílení internacionalizace v OP VVV - Rozvoj JU-ESF; Odborný řešitel-asistent či Odborný řešitel – analytik na fakultách JU – Zemědělská fakulta (od r. 2017)
- **International conference** – 8th International scientific conference; Rural Development 2017: Bioeconomy challenges, Aleksandras Stulginskis University, Lithuania: Article: Soil Erosion Vulnerability in the Cultivation of Energy Plants in the Conditions of the Czech Republic.

7.7 Členství v organizacích

- Člen řídicího výboru pro Sociální zemědělství (od r. 2017)
- Odborný řešitel-asistent či Odborný řešitel – analytik na fakultách JU – Zemědělská fakulta (od r. 2017)

7.8 Pedagogické zkušenosti:

Asistent (ZF JU): Vedení/Výuka předmětu: Konverze na ekologické zemědělství (KEZ); vedení předmětu: Projektování trvale udržitelných systémů hospodaření II (PUSH II); Projektování trvale udržitelných systémů hospodaření I (PUSH I); Agroenvironmentální praktikum (AEP); Ekoenergetika (EKOE); Praxe odborná (PRODB) - garant; Projektování trvale udržitelných systémů hospodaření II (PUSH II); Základní agrotechnika (ZAAGR); Regulace plevelů v ekologickém zemědělství (REGEZ); Regulace plevelů (REGPL), Ekosystémové služby (EKS) – garant, Ekologické a alternativní zemědělství (EAZE), Stroje pro šetrnou rostlinnou produkci (SSRP); Aplikovaná ekologie (TAE) - garant; Ecosystem services (EKS), výuka v anglickém jazyce - garant - na ZF JU v Českých Budějovicích

Vedení bakalářských a diplomových prací (od r. 2013)

7.9 Publikační činnost:

- Moudrý, J. jr., Kopecký, M., Moudrý, J., **Bernas, J.**, Jelínková, Z. (2012). Influence of water stress on germinability of selected grass species, IPCBEE, 47: 77-81
- Moudrý, J. Jr., Jelínková, Z., Moudrý, J., **Bernas, J.**, Kopecký, M., Konvalina, P. (2013). Influence of farming systems on production of greenhouse gas emission within cultivation selected crops. Journal of food, agriculture & environment. roč. 11, 3&4, s. 1015-1018. ISSN: 1459-0263.
- Moudrý, J. Jr., Jelínková, Z., Moudrý, J., Kopecký, M., **Bernas, J.** (2013). Production of greenhouse gases within cultivation of garlic in conventional and organic farming system. Lucrări științifice: seria Agronomie. roč. 56, č. 1. DOI: 1454-7414.
- **Bernas, J.**, J. Moudrý jr., Z. Jelínková a M. Kopecký (2014). Greenhouse gasses emissions during maize growing for energy purposes. In. MendelNet 2014. MENDELU, Brno, pp. 219-223, ISBN 978-80-7509-174-1.
- **Bernas, J.**, Kopecký, M., Moudrý, J. jr., Jelínková, Z., Moudrý, J., Konvalina, P. (2014). Výnosové a ekonomické aspekty pěstování vybraných energetických rostlin. Úroda 62 (12): 315-318
- **Bernas, J.**, Kopecký, M., Moudrý, J. jr., Moudrý, J., Jelínková, Z., Konvalina, P. (2014). Comparison of germination of selected energy grasses species within different water regimes. Lucrări Științifice, seria Agronomie 57 (1): 29-34
- Jelínková, Z., Moudrý, J. jr., Moudrý, J., **Bernas, J.**, Kopecký, M., Konvalina, P. (2014). LCA - Tool for food production evaluation. Lucrări Științifice, seria Agronomie, 57 (2)
- Konvalina, P., Capouchová, I., Honsová, H., Prokinová, E., Janovská, D., **Bernas, J.**, Kopecký, M., Moudrý, J. jr., Jelínková, Z., Moudrý, J. (2014). Organic Wheat Seed Quality, Lucrări Științifice, Seria Agronomie, 57 (2): 11-16
- Moudrý, J. jr., Jelínková Z., Kopecký, M., **Bernas, J.**, Moudrý, J., Konvalina, P., Kalkuš, V. (2014). Emission of greenhouse gases from the egg production

- within the conventional and organic farming system. *Lucrări Științifice, seria Agronomie*, 57 (2)
- **Bernas, J.**, Jelínková, Z., Moudrý, J. jr., Kopecký, M., Moudrý, J. (2015). Miscanthus – Possibility of greenhouse gas emission mitigation. In: *MendelNet 2015. MENDELU, Brno*, p. 183-188, ISBN 978-80-7509-363-9.
 - **Bernas, J.**, Moudrý, J. jr., Jelínková, Z., Kopecký, M., Konvalina, P., Moudrý, J. (2015). Maize production for energy purposes – the emission load. *Lucrări Științifice, seria Agronomie*, vol. 58: 23-28
 - **Bernas, J.**, Moudrý, J. jr., Jelínková, Z., Kopecký, M., Konvalina, P., Moudrý, J. (2015). Energy crops growing – impact on greenhouse gases emissions. *Environmental approaches - moving forward agricultural farm sustainability*, vol. 2: 92-93
 - Konvalina, P., Benková, L., Moudrý, J. jr., **Bernas, J.**, Kopecký, M. (2015). Organic seed production in the Czech republic. *Lucrări Științifice. seria Agronomie*, vol. 58: 11-16
 - Konvalina, P., Capouchová, I., Suchý, K., Moudrý, J. jr., **Bernas, J.**, Kopecký, M. (2015). Infestation of Cereal Crops With Fusarium in Case of a Natural Infection Under Organic Farming Management. *Environmental approaches - moving forward agricultural farm sustainability*, vol. 2: 123-124
 - Konvalina, P., Capouchová, I., Štěrbá, Z., Moudrý, J. jr., **Bernas, J.**, Kopecký, M. (2015). Impact of Organic Growing Technologies on Wheat Production and Quality. *Environmental approaches - moving forward agricultural farm sustainability*, vol. 2: 121-122
 - Kopecký, M., **Bernas, J.**, Moudrý, J. jr., Kobes, M. (2015). Klíčivost vybraných travních druhů v podmínkách vodního stresu. In: *Osivo a sadba: XII. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2015*, s. 216-221. ISBN 978-80-213-2544-9.
 - Kopecký, M., Moudrý, J. jr., **Bernas, J.**, Jelínková, Z., Moudrý, J., Konvalina, P., Šlachta, M. (2015). Drought impact on the germination of selected energy grass species. *Journal of Central European Agriculture*. 16(4), 503-513
 - Moudrý, J. jr., **Bernas, J.**, Jelínková, Z., Kopecký, M., Konvalina, P., Moudrý, J., Slabá, J. (2015). Greenhouse Gases emissions from oat production within conventional and organic farming. *Lucrări Științifice, seria Agronomie*, vol. 58: 17-22
 - Moudrý, J. jr., **Bernas, J.**, Jelínková, Z., Kopecký, M., Moudrý, J., Konvalina, P., Slabá, J. (2015). Greenhouse gases emissions within cereals growing in conventional and organic farming systém. *Environmental approaches - moving forward agricultural farm sustainability*, vol. 2: 83-85
 - Moudrý, J. jr., Jelínková, Z., **Bernas, J.**, Kopecký, M., Konvalina, P., Moudrý, J., Mráčková, J. (2015). Greenhouse gases emissions from selected crops growing within organic farming. *Acta fytotechn. zootechn.*, 18, 2015 (Special Issue): 56-58
 - **Bernas, J.**, Konvalina, P., Moudrý, J. Jr., Vlášek, O., Jelínková, Z. (2016): Technological Quality of Spelt Wheat and Environmental Impact of Spelt Wheat Growing. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*, 4(3): 128-131.
 - **Bernas, J.**, Kopecký, M., Moudrý Jr, J., Jelínková, Z., Moudrý, J., & Suchý, K. (2016). Cultivation of tall wheatgrass and reed canary grass for energy purposes in terms of environmental impacts. 6 th International Conference on Trends in Agricultural Engineering, p. 64-70, ISBN: 978-80-213-2649-1.

- **Bernas, J.**, Moudry Jr, J., Jelinkova, Z., Kopecky, M., Konvalina, P., & Moudry, J. (2016). Energy crops growing-impact on greenhouse gases emissions. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 17(3), 950-960. **(IF 0.734)**
- Jelínková, Z., J. Moudrý, J. Moudrý (jr.), **J. Bernas** a M. Kopecký. (2016). Life Cycle Assesment method – tool for evaluation. In: LLAMAS, Paustien. *Greenhouse Gases*. Rijeka: Intech, ISBN 978-953-51-4323-9.
- Jelínková, Z., Moudrý, J. jr., **Bernas, J.**, Kopecký, M., Moudrý, J., Konvalina, P. (2016): Environmental and economic aspects of *Triticum aestivum* L. and *Avena sativa* growing, *Open Life Science*, 11(1), p. 533-541. **(IF 0.814)**
- Konvalina, P., Kopecký, M., **Bernas, J.**, Moudrý, J. jr., Suchý, K., Machková, B. (2016): Weed competitiveness of winter and spring wheat in organic farming. *Lucrări Științifice, seria Agronomie*, vol. 59 (1), p. 103-108.
- Kopecký, M., Moudrý, J. jr., **Bernas, J.**, Jelínková, Z., Konvalina, P., Váchalová, R., Moudrý, J., Kolář, L. (2016): Effect of fertilization on the yields of tall wheatgrass harvested once a year. *Lucrări Științifice, seria Agronomie*, vol. 59, (1) p. 109-112.
- P. Hloucalova¹, M. Novotna¹, **J. Bernas**², P. Horky¹, J. Skladanka¹ (2016). Influence selenium nanoparticles and sodium selenite on the antioxidant potential and yields of red clover, In. *MendelNet 2016. MENDELU*, Brno, p. 75-78, ISBN 978-80-7509-443-8.
- Bucur, R. D., Barbuta, M., Konvalina, P., Serbanoiu, A. A., & **Bernas, J.** (2017, September). Studies for understanding effects of additions on the strength of cement concrete. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 246, No. 1, p. 012036). IOP Publishing.
- Kopecký, M., Moudrý, J. jr., Hloucalová, P., **Bernas, J.**, Vachalová, R., & Kryptová, M. (2017). Germination of Seeds of Selected Energy Grasses under Water Stress. In *SEED AND SEEDLINGS. XIII. Scientific and technical seminar. 2. February 2017* (pp. 187–192). Prague, Czech Republic: Czech University of Life Sciences Prague
- Konvalina, P., Grausgruber, H., Khoa, T. D., Vlasek, O., Capouchova, I., Sterba, Z., Suchy, K., Stolicikova, M., Kryptova, M., **Bernas, J.**, Kopecky, M. (2017): Rheological and Technological Quality of Minor Wheat Species and Common Wheat. In: Wanyera, R., Owuoche, J. (Eds.): *Wheat Improvement, Management and Utilization*. Intech, Rijeka, pp. 255-273, ISBN: 978-953-51-3152-6