

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4101 / Zemědělské inženýrství

Studijní obor: 4106T019 / Agroekologie – Ekologické zemědělství

Katedra: Agroekosystémů

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Pěstování vybraných druhů rostlin pro energetické využití

Vedoucí diplomové práce: Ing. Marek Kopecký

Autor diplomové práce: Bc. Miroslav Švec, DiS.

České Budějovice, duben 2018

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

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Miroslav ŠVEC, DiS.**  
Osobní číslo: **Z15510**  
Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**  
Studijní obor: **Agroekologie - Ekologické zemědělství**  
Název tématu: **Pěstování vybraných druhů rostlin pro energetické využití**  
Zadávací katedra: **Katedra agroekosystémů**

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

1. Úvod: Úvod do problematiky.
2. Literární rešerše: Formou literární rešerše shrnout dostupné informace o pěstování energetických rostlin a možnostech jejich využití.
3. Cíl práce: Cílem práce je sledování a porovnání produkčního potenciálu energetických rostlin *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. *Szarvasi-1* a *Miscanthus giganteus*.
4. Materiál a metodika: Údržba experimentálních porostů daných energetických rostlin na pokusném pozemku Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích dle stanovené metodiky. Sledování výnosových charakteristik *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. *Szarvasi-1* a *Miscanthus giganteus*.
5. Výsledky a diskuse: Zpracování získaných výsledků a jejich vyhodnocení. Porovnání získaných dat s údaji z odborné literatury formou diskuse.
6. Závěr: Shrnutí výstupů závěrečné práce.
7. Seznam použité literatury

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

Rozsah pracovní zprávy: **30-50 stran včetně příloh**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

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.

Kára, J., Stražil, Z., Hutla, P., & Uszák, S. (2005). Energetické rostliny: Technologie pro pěstování a využití. Výzkumný ústav rostlinné výroby.

Malafák, J., & Vaculík, P. (2008). Biomasa pro výrobu energie. Česká zemědělská univerzita v Praze.

Ochodek, T., Koloničný, J., & Janásek, P. (2006). Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.

Pastorek, Z., Kára, J., & Jevič, P. (2004). Biomasa: obnovitelný zdroj energie. FCC Public.

Petříčková, V., & Weger, J. (2015). Pěstování rostlin pro energetické a technické využití: Biomasa - bioplyn - krmiva. Profi Press.

Singh, B. P. (Ed.). (2013). Biofuel crops: production, physiology and genetics. CABI.

Stražil, Z. (2009). Základy pěstování a možnosti využití ozdobnice (*Miscanthus*). Výzkumný ústav rostlinné výroby.

Stražil, Z. (2011). Trávy jako energetická surovina: certifikovaná metodika pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Marek Kopecký**  
Katedra agroekosystémů

Datum zadání diplomové práce: **17. února 2017**

Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2018**

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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studentův 1888, 370 06 České Budějovice

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

V Českých Budějovicích dne 23. března 2017

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracoval samostatně, pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b 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, elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 10. 4. 2018

.....

Podpis autora

## **Poděkování**

V první řadě bych chtěl tímto poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Marku Kopeckému, a to za poskytnuté podklady, cenné připomínky a rady, kterých jsem při vypracování této práce využil, ale též za jeho ochotu a vstřícnost.

Dále bych rád poděkoval všem mým kolegům, kteří se v minulosti podíleli na obhospodařování a odebírání vzorků vybraných druhů energetických rostlin na pozemku Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích a tím velkou měrou přispěli k vytvoření této diplomové práce.

V neposlední řadě děkuji své rodině za tolik potřebnou podporu a veškerou pomoc, kterou mi v průběhu mých studií a potažmo i při vypracování této práce poskytovala.

## Abstrakt

Význam obnovitelných zdrojů energie roste se zvyšující se spotřebou elektrické energie a tepla a zároveň se snižujícími se zásobami fosilních paliv. Pro Českou republiku by v budoucnu mohla být biomasa velice významným zdrojem obnovitelné energie.

Tato diplomová práce na zadané téma „Pěstování vybraných druhů rostlin pro energetické využití“ v prvních kapitolách teoretické části pojednává o české a světové energetice. Navazují kapitoly o obnovitelných zdrojích energie a o možnostech využití biomasy rostlin pro energetické účely. Rešerše se dále zabývá travinami jako alternativními energetickými zdroji se zaměřením na využití pro přímé spalování. Poslední kapitoly rešerše jsou zaměřeny na pěstování vybraných energetických plodin, jimiž jsou víceleté trávy *Elymus elongatus* (poddruh Ponticus, odrůda Szarvasi-1) a *Miscanthus × giganteus* (ozdobnice obrovská).

Praktická část popisuje založení, ošetřování a sklizeň maloparcelkových pokusů energetických odrůd trav Szarvasi-1 a hybridu *Miscanthus × giganteus*, které byly na pozemcích Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích cíleně pěstovány jako energetické plodiny určené pro přímé spalování. Pokusy s porostem Szarvasi-1 probíhaly ve třech druzích hospodaření. První variantou byla tzv. "extenzivní" forma, kde rostliny nebyly hnojeny žádným hnojivem. Druhou formou hospodaření byla varianta "intenzivní", ve které se porost přihnojoval minerálními hnojivy. Poslední varianta označená jako "digestát" byla hnojena organickým hnojivem. Maloparcelkové pokusy s *Miscanthus × giganteus* probíhaly oproti Szarvasi-1 pouze v jedné variantě pěstování, a to "intenzivní". U obou odrůd energetických travin založených na jaře 2013 a u všech variant pěstování byly po šestiletém vegetačním období vyhodnoceny výnosové potenciály z průběhu posledních pěti let vegetace těchto kultur. Hodnocenými parametry byly zejména výnosy čerstvé hmoty a sušiny v  $t \cdot ha^{-1}$ , ale také průměrný obsah sušiny v %. Tyto výsledky byly zaznamenány a porovnány s odbornou literaturou. Z výsledků práce vyplývá, že porost *Miscanthus × giganteus* poskytuje v průměru vyšší výnosy než kultivar Szarvasi-1, který překvapivě nejlépe reaguje na hnojení organickým hnojivem.

**Klíčová slova:** Energetika, obnovitelné zdroje energie, biomasa, spalování, Szarvasi-1, *Miscanthus × giganteus*, výnos.

## Abstract

The importance of renewable energy sources is increasing with the increasing consumption of electricity and heat as well as declining fossil fuel supplies. For the Czech Republic biomass could be a very important source of renewable energy in the future.

This diploma thesis on the topic „Cultivation of selected plant species for energy use“ in the first chapters of the theoretical part deals with Czech and world energy. The chapters on renewable energy sources and the possibilities of using biomass for plants for energy purposes follow. The research also deals with grasslands as alternative energy sources with a focus on direct burning. The last chapters of the research are focused on the cultivation of selected energy crops, such as the *Elymus elongatus* grass (subspecies Ponticus, Szarvasi-1) and *Miscanthus × giganteus*.

The practical part describes the establishment, nursing and harvesting of small-scale experiments of Szarvasi-1 grass and *Miscanthus × giganteus* grass varieties, which were cultivated on the premises of the University of South Bohemia in České Budějovice and were grown as energy crops for direct incineration. Experiments with the Szarvas-1 cultivation took place in three types of farming. The first variation was the so-called "extensive" form where the plants were not fertilized with any fertilizer. The second form of farming was the "intensive" variant, in which the fertilizer was fertilized with mineral fertilizers. The last variant labeled "digestate" was fertilized with organic fertilizer. Maloparcelian experiments with *Miscanthus × giganteus* were carried out only in one variation of cultivation than Szarvasi-1, "intensive". For both varieties of energy crops harvested in spring 2013 and for all cultivation variants, the yield potentials from the last five years of vegetation of these cultures were evaluated after a six-year vegetation period. The evaluated parameters were in particular the yields of fresh matter and dry matter in  $t \cdot ha^{-1}$ , but also the average solids content in %. These results were recorded and compared with specialist literature. The results of the work show that *Miscanthus × giganteus* yields on average higher yields than Szarvasi-1, which surprisingly best responds to organic fertilizer fertilization.

**Keywords:** Energy, renewable energy, biomass, burning, Szarvasi-1, *Miscanthus × giganteus*, yield.

# Obsah

<b>1. Úvod.....</b>	<b>10</b>
<b>2. Literární rešerše.....</b>	<b>12</b>
2.1 Energetika .....	12
2.1.1 Základní rozdělení zdrojů energie.....	13
2.1.2 Energetika ve světě .....	14
2.1.3 Energetika v ČR .....	15
2.2 Obnovitelné zdroje energie .....	15
2.2.1 Sluneční energie .....	17
2.2.2 Větrná energie .....	17
2.2.3 Vodní energie .....	17
2.2.4 Geotermální energie .....	18
2.2.5 Biomasa.....	18
2.3 Biomasa jako obnovitelný zdroj energie.....	18
2.4 Využití biomasy pro energetické účely.....	20
2.4.1 Trávy jako energetická surovina .....	21
2.4.1.1 Využití travní biomasy pro spalování .....	22
2.5 Charakteristika vybraných energetických druhů rostlin .....	24
2.5.1 <i>Elymus elongatus</i> subsp. <i>ponticus</i> cv. Szarvasi-1 .....	24
2.5.1.1 Taxonomie rostliny .....	25
2.5.1.2 Botanická charakteristika .....	26
2.5.1.3 Původ odrůdy .....	26
2.5.1.4 Nároky na stanoviště.....	26
2.5.1.5 Osevní postup a agrotechnika .....	27
2.5.1.6 Ochrana rostlin .....	27
2.5.1.7 Hnojení.....	28
2.5.1.8 Sklizeň.....	29
2.5.1.9 Využití produktu .....	29
2.5.2 <i>Miscanthus</i> × <i>giganteus</i> .....	30
2.5.2.1 Botanická charakteristika .....	30
2.5.2.2 Nároky na stanoviště.....	31
2.5.2.3 Osevní postup a agrotechnika .....	31
2.5.2.4 Ochrana rostlin .....	32



2.5.2.5 Hnojení.....	33
2.5.2.6 Sklizeň.....	33
2.5.2.7 Likvidace porostu.....	33
2.5.2.8 Využití produktu .....	34
2.5.2.9 Ekonomika .....	34
<b>3. Cíle práce a hypotézy .....</b>	<b>36</b>
<b>4. Materiál a metodika.....</b>	<b>37</b>
4.1 Charakteristika lokality .....	37
4.2 Založení porostu a agrotechnika .....	39
4.2.1 Založení porostu Szarvasi-1 .....	39
4.2.2 Založení porostu <i>Miscanthus × giganteus</i> .....	40
4.3 Udržování porostů a způsoby hnojení.....	40
4.4 Metodika odběru vzorků pro stanovení výnosu .....	41
<b>5. Výsledky a diskuze .....</b>	<b>43</b>
5.1 První sada vzorků, rok 2014.....	43
5.2 Druhá sada vzorků, rok 2015 .....	45
5.3 Třetí sada vzorků, rok 2016 .....	46
5.4 Čtvrtá sada vzorků, rok 2017 .....	47
5.5 Pátá sada vzorků, rok 2018 .....	48
5.6 Celkové výsledky z let 2014 - 2018.....	49
<b>6. Závěr.....</b>	<b>57</b>
<b>7. Seznam použité literatury .....</b>	<b>59</b>
<b>8. Přílohy .....</b>	<b>66</b>
8.1 Fotografická dokumentace .....	66

# 1. Úvod

V současné době je zaznamenán nárůst spotřeby energie v mnoha zemích světa. Zdrojů energie, které lze efektivně využívat, však není mnoho. Nejvýznamnějším energetickým zdrojem současnosti jsou fosilní paliva (uhlí, ropa, zemní plyn), která jsou intenzivně využívána s rozvojem průmyslu během posledních dvou století. Rostoucí spotřeba fosilních paliv vede k zvýšení koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře. Podle některých studií oxid uhličitý společně s dalšími skleníkovými plyny (metan, oxid dusný) zabraňuje úniku tepla do vesmíru, což je příčinou negativního globálního oteplování. Pravděpodobně také v tomto století dojde k podstatnému nebo téměř úplnému vyčerpání některých fosilních zásob využívaných v chemickém průmyslu a energetice. Využívání jaderných paliv je spojeno s ekologickými riziky, jako je radioaktivní zamoření. Otázkou tedy je, jakým způsobem se lidstvo dokáže vypořádat s nárůstem spotřeby energie, který je spojen se zvyšováním životní úrovně a který lze do budoucna očekávat.

V době, kdy některé hospodářsky významné státy EU deklarovaly odklon o výroby energie z jádra, se také v ČR připravuje zásadní politické rozhodnutí o směřování sektoru výroby energie na dalších 40 - 50 let. Vážnost tohoto rozhodnutí je ilustrována zřízením Rady vlády pro energetickou a surovinovou strategii, která má za úkol připravit návrh aktualizace Státní energetické koncepce ČR do roku 2060.

Celosvětovým trendem v energetice je výrazné snižování emisí skleníkových plynů a zvyšování energetické efektivity. Na úrovni orgánů Evropské unie se uvažuje o možném razantním snižování emisí skleníkových plynů v období do roku 2050, a to až o 85 - 90 % proti současnému stavu. Tuto snahu také dokládá schválená Strategie pro Evropu do roku 2020, která mimo jiné zavedla závazné podíly výroby energie z obnovitelných zdrojů. Ta stanovuje závazný cíl 20 % podílu obnovitelných zdrojů na spotřebě energie a povinný minimální 10 % podíl biopaliv v dopravě. Tento vývoj si postupně vyžádá také v ČR změny směrem k vyváženému energetickému mixu, který by měl preferovat maximálně efektivní využívání tuzemských zdrojů, včetně obnovitelných. Důležitou roli bude hrát v ČR významný obnovitelný energetický zdroj - biomasa. Podle Akčního plánu pro biomasu v ČR na období 2012 - 2020 by měl podíl OZE na hrubé domácí spotřebě v roce 2020 dosáhnout 13,5 % a podíl obnovitelné energie v dopravě 10 %.

Obnovitelné zdroje energie (OZE) odpovídají zásadám udržitelného rozvoje, což je uspokojení současných potřeb bez ohrožení schopnosti uspokojit potřeby budoucích generací. Jedním z důležitých obnovitelných zdrojů energie je biomasa, která má daleko širší význam než jen získání nového zdroje energie: přispívá k omezení skleníkového efektu, její intenzivní zeleň zlepšuje ekologii krajiny, umožňuje efektivní využití půdy a má i významné sociální aspekty, neboť přispívá k vytvoření nových pracovních příležitostí. Při spalování biomasy se sice CO<sub>2</sub> také uvolňuje, ale protože biomasa vzniká v současnosti, je vznikající oxid uhličitý z ovzduší odčerpáván rostlinami a jeho bilance v ovzduší se tak vyrovnává. Čím více porostů energetických rostlin bude zakládáno, tím více CO<sub>2</sub> se bude z ovzduší odčerpávat.

Orientace na obnovitelné zdroje energie je součástí energetické, zemědělské a environmentální koncepce EU, sledující zvýšení regionální energetické soběstačnosti, snížení přepravní náročnosti, udržení účelné zaměstnanosti na venkově, zachování krajinného rázu a udržení peněz za energie v regionu. Protože pěstování a zpracování energetických plodin (příp. dřevin) vyžaduje větší vklad práce a energie než dobývání fosilních paliv, je zjevné, že bez státní podpory obnovitelných zdrojů energie bude jejich schopnost konkurovat palivům fosilním omezená.

## 2. Literární řešení

### 2.1 Energetika

Průmyslový obor, který zajišťuje výrobu a rozvod elektrické energie a tepla, se označuje jako energetika. Elektrická energie se vyrábí v elektrárnách, odkud je rozváděna tzv. přenosovou soustavou ke spotřebitelům. Skladba zdrojů energie, ze kterých se vyrábí elektrická energie, se v jednotlivých státech liší a nazývá se energetická základna (CENIA, 2013).

- **Základní pojmy**

- Brutto výroba elektřiny - celkové množství vyrobené elektřiny na svorkách všech generátorů.
- Netto výroba elektřiny - výroba elektřiny brutto, od které je odečtena technologická vlastní spotřeba na výrobu elektřiny.
- Netto spotřeba elektřiny - součet všech odběratelů elektrické energie, spotřeba provozovatelů přenosové a distribuční soustavy, lokální spotřeba a technologická vlastní spotřeba elektřiny na výrobu tepla.
- Brutto spotřeba elektřiny - spotřeba netto navýšená o spotřebu na přečerpávacích vodních elektrárnách, ztráty v přenosové a distribuční soustavě a technologickou vlastní spotřebu na výrobu elektřiny (ERÚ, 2017).

Jako spotřeba elektrické energie je uváděna vnitrostátní výroba elektrické energie včetně vlastní výroby, s odečtením vývozu a připočtením dovozu (národní hrubá spotřeba elektrické energie) (Murtinger K. et al., 2006).

Energetika v současné době prochází obdobím velkých změn. Zaváděním trhu s energií ve většině průmyslových států vyžaduje zajištění dostatku energie pro udržení požadovaného růstu a pokroku. Technická a ekonomická kritéria jsou prvořadá, uplatňují se ve volbě technologie zdroje, avšak ekonomická kritéria začínají převládat nad technickými kritérii. Zvyšují se nároky na ochranu životního prostředí. Řada problémů se znečištěním životního prostředí toxickými látkami z energetických výroben byla z větší části vyřešena, do popředí se dostává hrozba dodatečného skleníkového efektu, k čemuž významnou měrou přispívá CO<sub>2</sub> a další

plyny (metan, oxidy dusíku, freony, ozón, termoemise). Zvyšující se koncentrace těchto skleníkových plynů v atmosféře omezuje vyzařování nahromaděného tepla zpět do vesmíru, což může mít vliv na globální oteplování a změny klimatu. Lidstvo si začíná stále více uvědomovat, že tradiční zdroje primární energie začínají být omezenější a především dražší a při rychlém rozvoji spotřeby energie je vhodné hledat její další možné zdroje (Ochodek T. et al., 2006).

Původcem většiny energie na Zemi je sluneční záření, které v dávné minulosti vytvořilo zásoby fosilních energetických zdrojů - uhlí, ropy a zemního plynu. Dnes je původcem většiny obnovitelných energetických zdrojů (Petříková V. et al., 2006).

Vráblíková J. (2000) uvádí, že ekonomický růst je spojen s růstem výroby a spotřeby energie. Pro zvyšování výroby je základním předpokladem dostatek energie, a to především fosilní (uhlí, ropa, zemní plyn), které patří k největším zdrojům znečišťování životního prostředí. To uvádí i Petříková V. et al. (2006) a ještě dodává, že spálením 1 kg černého uhlí vzniká 2,56 kg CO<sub>2</sub>, spálením 1 kg motorové nafty se uvolní 3,12 kg CO<sub>2</sub> a spálením 1 m<sup>3</sup> zemního plynu 2,75 kg CO<sub>2</sub>.

## 2.1.1 Základní rozdělení zdrojů energie

Bičík I. (2003) uvádí základní rozdělení zdrojů energie takto:

- **Tradiční neobnovitelné:** a) klasické: - fosilní paliva (černé a hnědé uhlí, lignit, ropa, zemní plyn);  
- uran  
b) alternativní: - syntetická paliva (zkapalňování a zplyňování uhlí);  
- ropné břidlice a písky
  
- **Alternativní obnovitelné:** a) klasické: - vodní energie (např. průtočné vodní elektrárny);  
- větrná  
- sluneční  
- geotermální  
- biomasa (např. dřevo);  
b) alternativní: - vodní energie (např. přílivová);  
- biomasa (např. bionafta).

## 2.1.2 Energetika ve světě

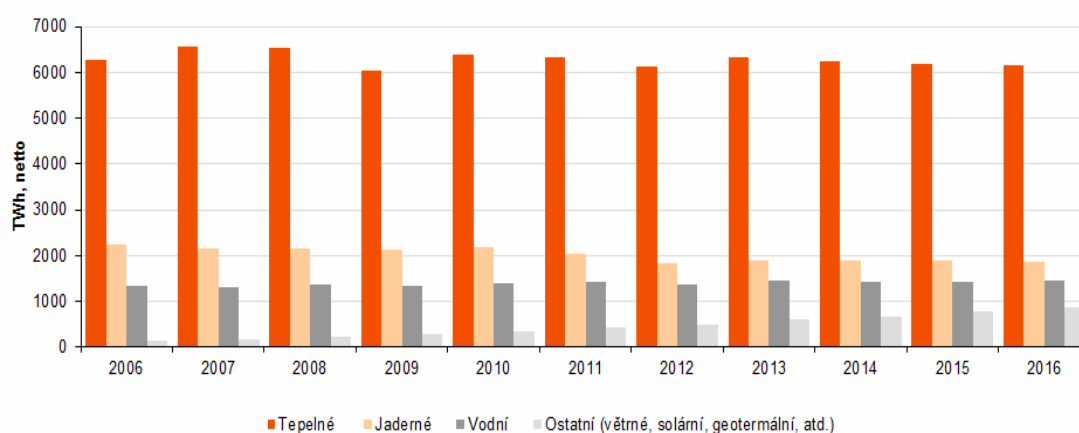
Ve výrobě elektřiny celosvětově převažují tzv. fosilní paliva. Dále se hojně využívá jaderná energie a obnovitelné zdroje, z nichž nejvýznamnější je energie vody (Graf 1), (CENIA, 2013).

Lze předvídat, že nárůst spotřeby energie bude perspektivně dále pokračovat nejen v průmyslově vyspělých zemích, ale dojde i ke zvyšování spotřeby energie v rozvojových zemích (v současné době je asi 80 % světové spotřeby energie využíváno 30 % obyvatel ve vyspělých zemích) (Ochodek T. et al., 2006).

Technický pokrok a růst počtu obyvatel vyvolává globální problémy a vytváří otázky, zda bude nadále možný trvale udržitelný rozvoj. Má-li být zachován trvale udržitelný rozvoj, nemůže k dalšímu technickému pokroku docházet na úkor spotřeby energie z fosilních zdrojů, které se postupně vyčerpávají a zatěžují životní prostředí exhalacemi. Využití OZE je z dlouhodobého hlediska jedinou možnou cestou vývoje civilizace (Libra M. a Poulek V., 2007).

Alternativně získaná biopaliva se vyrovnají a někdy i předčí ta fosilní. Biopaliva mají základní rozdělení na kapalná (bioetanol, bio-olej, atd.), pevná (dřevní pelety, brikety, atd.) a plynná (bioplyn, dřevoplyn, atd.) (Požárová I., 2007).

**Graf 1: Světová výroba elektřiny netto v zemích OECD dle typu zdroje.**

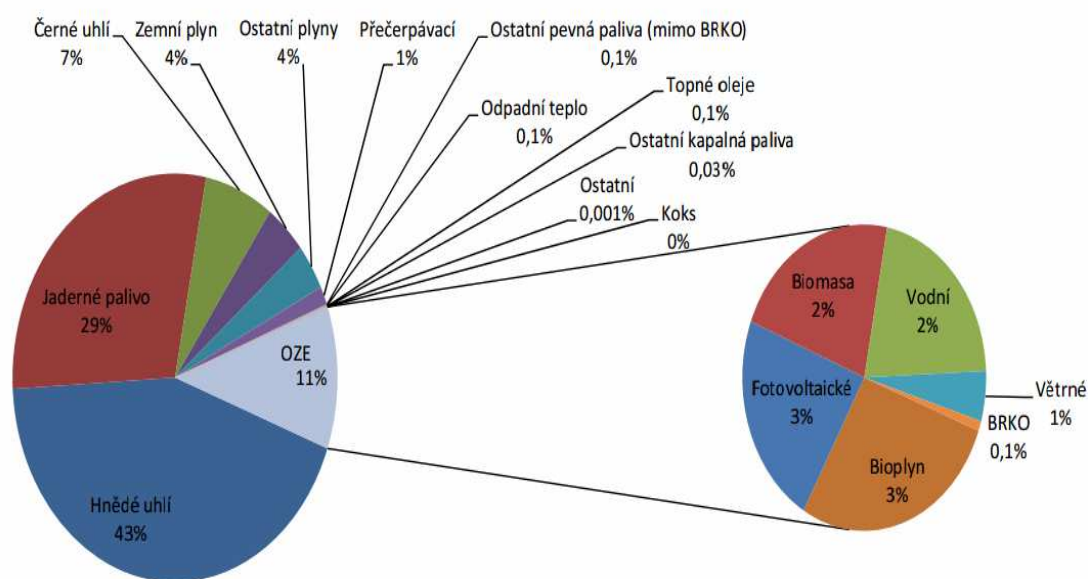


(IEA, 2017)

## 2.1.3 Energetika v ČR

V současnosti se pro výrobu elektrické energie využívá spalování uhlovodíkových paliv - dřevo, uhlí, ropa a zemní plyn. Využívají se též obnovitelné zdroje - voda, vítr, sluneční energie, biomasa, bioplyn a jaderné energie ve formě štěpení jádra (Graf 2), (Kubín M., 2003).

**Graf 2: Podíl paliv a technologií na výrobě elektřiny brutto v ČR - 2016.**



(ERÚ, 2017)

## 2.2 Obnovitelné zdroje energie

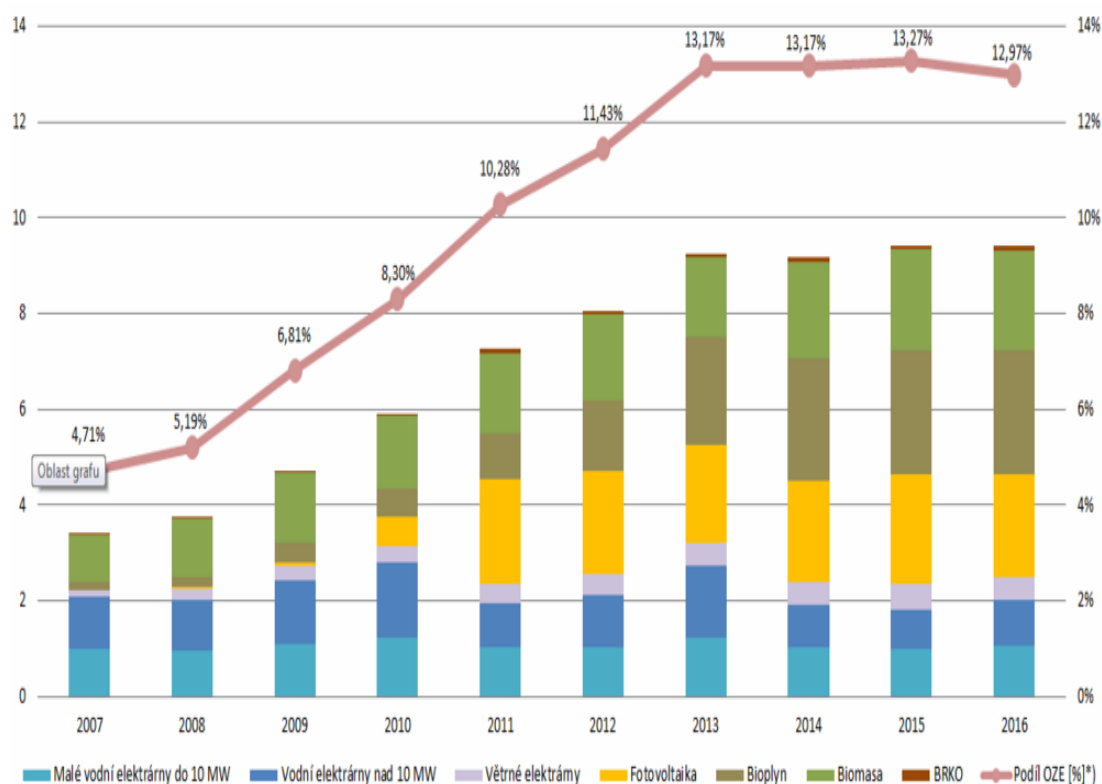
Zdroje nerostných surovin s rostoucí energetickou potřebou neustále klesají, na druhé straně se čím dál více prosazují obnovitelné zdroje energie. Otázkou je, do jaké míry můžeme nahradit tyto neobnovitelné zdroje energie (Malat'ák J. a Vaculík P., 2008).

Obnovitelné zdroje jsou v měřítku lidstva nevyčerpané formy energie Slunce a Země (Motl'ík J. et al., 2007). V podmínkách ČR se jedná o nefosilní přírodní zdroje energie, tj. energie vody, větru, slunečního záření, pevné biomasy a bioplynu, energie okolního prostředí, geotermální energie a energie kapalných biopaliv (Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2012). Jejich vývoj ve výrobě elektřiny a podíl na tuzemské spotřebě znázorňuje níže umístěný graf 3.

Obnovitelnými zdroji můžeme též rozumět jiný zdroj či jinak vyrobenou energii než vzniklou spalováním fosilních paliv či štěpením jaderného paliva (Cenek M., 2001). Frydrych J. et al. (2001) za obnovitelné zdroje energie (OZE) považuje přírodní zdroje, které jsou pro využití buďto ihned, či pravidelně k dispozici a neustále se obnovují. Dle Petříkové V. et al. (2006) se obnovitelnými zdroji energie rozumí nefosilní obnovitelné zdroje energie (vítr, geotermální energie, sluneční energie, energie vln a přílivu, biomasa, energie vody, plyn ze skládek, z čistíren odpadních vod a bioplyny) v souladu s § 31 zák. č.458.

Elektrická energie vyrobená z obnovitelných zdrojů energie je elektrická energie vyrobená v zařízeních, která využívají jen obnovitelné zdroje energie a část elektrické energie vyrobené z určených obnovitelných zdrojů energie v hybridních zařízeních, která využívají také konvenční zdroje energie, a to včetně elektrické obnovitelné energie používané k doplnění akumulčních systémů, ale s určitou výjimkou elektrické energie vyrobené jako výsledek těchto akumulčních systémů (MacKay D., 2008).

**Graf 3: Vývoj výroby elektřiny brutto z OZE a její podíl na tuzemské brutto spotřebě (TWh).**



(ERÚ, 2017)



## 2.2.1 Sluneční energie

Vráblíková J. (2000) uvádí, že největším zdrojem energie je Slunce. Na Zemi dopadá přibližně  $1,8 \cdot 10^{14}$  kW. Pro využití sluneční energie v určité lokalitě jsou rozhodující údaje o intenzitě slunečního záření a době slunečního svitu. Z rozboru klimatických podmínek ČR vyplývá, že celkové průměrné množství sluneční energie, které dopadá za rok na  $1 \text{ m}^2$  je přibližně: u vodorovné plochy  $1045 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$  za rok, u šikmé plochy skloněné pod úhlem  $40^\circ$  a orientované na jih  $1203 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$  za rok a u svislé plochy orientované na jih  $900 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$  za rok. Největší množství, asi 80 %, připadá na období březen až říjen.

## 2.2.2 Větrná energie

V České republice se příhodné lokality pro využití větrné energie téměř vždy nacházejí ve vyšších nadmořských výškách. Za minimální hranici rychlosti větru se pro využití tohoto druhu energie považuje  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Podle studie zpracované Ústavem fyziky atmosféry Akademie věd ČR byl určen potenciál energie větru pro výrobu elektrické energie na území celé republiky, a to s ohledem na zákon O ochraně přírody a krajiny č. 114/1992 Sb. a s ohledem na zalesněné plochy, kdy při využití všech lokalit s rychlostí větru nad  $4,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  lze v ČR vyrobit až 5 TWh ročně (Malat'ák J. a Vaculík P., 2008).

## 2.2.3 Vodní energie

Vráblíková J. (2000) uvádí, že vodní energie je nejdéle technicky využívaným energetickým zdrojem. Voda je nositelem mechanické, tepelné a chemické energie. Podmínky pro využívání energie jsou příznivé i pro Českou republiku. Dnes je v provozu asi 1300 malých vodních elektráren s instalovaným výkonem do 10 MW. V současném období je uváděna pro Českou republiku hodnota teoretického hydroenergetického potenciálu ve výši  $1,31 \cdot 10^{10}$  kWh / rok.

## 2.2.4 Geotermální energie

Zdrojem geotermální energie je rostoucí teplota hornin s hloubkou pronikání do nitra Země. Tepelný tok z nitra na povrch dosahuje hodnot okolo 26 000 GW. Tepelný vzrůst teploty hornin činí v průměru 20 - 30 °C na každý km hloubky. Geotermální energie je nevyčerpatelný zdroj, dostupný z libovolného místa na Zemi v hloubce 10 - 12 km pod povrchem Země (Vráblíková J., 2000).

## 2.2.5 Biomasa

Významným obnovitelným zdrojem energeticky využitelné energie je biomasa, v níž je uložena sluneční energie. Pojem biomasa obvykle označuje substanci biologického původu, jako je rostlinná biomasa pěstovaná v půdě nebo ve vodě, živočišná biomasa, vedlejší organické produkty nebo organické odpady (ČEZ, 2017). Frydrych J. et al. (2005) píše o biomase jako o nejstarším lidmi využívaným zdrojem energie, který má navíc obnovitelný charakter a jehož efektivní a ekologické využití má minimální negativní vliv na životní prostředí.

V České republice je vlivem místních podmínek relativně nízký využitelný potenciál energie větru i nových vodních elektráren. Slibný může být potenciál sluneční energie, pokud ji dokážeme využívat s vyšší účinností, případně energie geotermální. Oproti tomu je využitelný potenciál energie biomasy podstatně vyšší a představuje tak více než 80 % v současnosti dostupného potenciálu všech obnovitelných energií (Petříková V. et al., 2006).

## 2.3 Biomasa jako obnovitelný zdroj energie

Biomasa se v posledních letech stává atraktivním zdrojem energie pro všechny typy uživatelů. Rozvoj energetiky, nejen v ČR, ale i v ostatních vyspělých zemích, se začíná potýkat s problémy vysoké spotřeby primární energie, kterou se nedaří snižovat. Rozhodující podíl na celkové spotřebě v současnosti tvoří fosilní paliva. Zdroje fosilních paliv, zejména pak ropy a zemního plynu - v případě ČR pak uhlí, se ale rychle vyčerpávají, případně je jejich těžba ekonomicky a energeticky

náročná. Důsledkem toho je neustále rostoucí dovozní závislost na importu těchto strategických komodit často z politicky a ekonomicky nestabilních regionů (Havlíčková K. et al., 2007). Tato situace vede k hledání dalších energetických zdrojů, aby i nadále bylo možné zajišťovat strmě narůstající trend spotřeby energie. Mezi těmito zdroji patří k nejvýznamnějším biomasa (Noskovič P. et al., 1996).

Zárybnická M. (2012) uvádí, že biomasu můžeme dělit podle různých kritérií, nejčastější je dělení na tzv. suchou (např. dřevo, lesní odpad) a mokrou (např. tekuté i pevné exkrementy hospodářských zvířat) biomasu, další možné rozdělení je z pohledu energetických přeměn biomasy. V poslední době se stále více rozšiřuje cílené pěstování biomasy jako energetické suroviny. Moudrý J. a Stražil Z. (1998) píše o biomase jako o všech přírodních produktech, které jsou výsledkem procesu fotosyntézy, schopného zachytit 1- 3 % dopadající sluneční energie. Fuksa P. (2009) definuje biomasu jako substanci biologického původu. Je získávána jako výsledek výrobní činnosti (zejména pěstování rostlin a chov živočichů), nebo se jedná o využití odpadů ze zemědělské, potravinářské a lesní výroby, z komunálního hospodářství, z údržby krajiny a podobně. Fytomasa je charakterizována jako veškerá organická hmota rostlinného původu vznikající v přírodě v průběhu fotosyntézy.

Dělení biomasy dle Zárybnické M. (2012):

- **zemědělská biomasa (fytomasa pěstovaná na zemědělské půdě)**

- cíleně pěstovaná biomasa
- biomasa obilovin, olejnin a pradávných rostlin
- trvalé travní porosty
- rychlerostoucí dřeviny pěstované na zemědělské půdě
- rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny

- **lesní biomasa (dendromasa)**

- palivové dřevo
- zbytky z hospodaření v lesích

- **zbytková biomasa (vedlejší produkty zemědělského a zpracovatelského průmyslu)**

- vedlejší produkty a zbytky z papírenského průmyslu
- vedlejší produkty a zbytky z potravinářského průmyslu
- vedlejší produkty a zbytky z průmyslu na zpracování dřeva
- vedlejší produkty a zbytky z živočišného průmyslu

- vedlejší produkty a zbytky z ostatního průmyslu
- biologicky rozložitelný odpad
- lihovarnické výpalky.

Předností biomasy dle Noskiewiče P. et al. (1996) je zejména její obnovitelnost a také její dostupnost. Navíc k jejímu cílenému pěstování může sloužit přebytečná zemědělská půda, dnes nepotřebná k produkci potravin. Další výhodu biomasy vidí Petříková V. (2000) v sociálně ekonomickém odvětví a to především na venkově, kde může vytvářet řadu nových pracovních míst a současně zajišťovat údržbu krajiny. Fuksa P. (2009) uvádí, že energetické rostliny lze pěstovat i na důlních výsypkách či složištích popela. Fytopaliva je možné standardizovat co do tvaru, objemové hmotnosti i výhřevnosti.

Petříková V. et al. (2006) uvádí i nevýhody biomasy, z nichž jako hlavní označuje nedostatečnou ekonomickou konkurenční schopnost vůči fosilním palivům a kolísavé výnosy biomasy. Fuksa P. (2009) vidí nedostatky také v nízké objemové hmotnosti fytohmoty, z čehož vyplývají velké požadavky na skladovací prostory. Noskiewič P. et al. (1996) upozorňuje i na laické a nezodpovědné provozování spalovacích zařízení pro biomasu, protože tak může dojít k výraznému překročení emisních limitů některých škodlivin.

## 2.4 Využití biomasy pro energetické účely

Dle Fuksy P. (2009) závisí způsob využití biomasy na jejích fyzikálních a chemických vlastnostech. Nejdůležitějším parametrem je obsah sušiny. Hraniční hodnota je 50 % sušiny v biomase, kdy materiál s obsahem sušiny vyšším než 50 % je vhodný k takzvaným suchým procesům získávání energie. Naopak, biomasa s nižším obsahem se zpravidla využívá k tzv. mokrým procesům získávání energie. Murtinger K. (2007) rozděluje biomasu na suchou a mokrou také podle obsahu sušiny, ovšem jako hraniční hodnotu považuje 40 %.

Pastorek Z. (1996) dělí způsoby získávání energie do čtyř skupin. První z nich je termochemická přeměna biomasy (suché procesy), kam řadí spalování, zplyňování a pyrolýzu biomasy. Druhou skupinu tvoří biochemická přeměna biomasy neboli mokré procesy, zahrnující alkoholové a metanové kvašení. Další skupina je fyzikální (mechanická - peletování, briketování, drcení apod.) a chemická

(esterifikace surových bioolejů) přeměna biomasy. Poslední způsob získávání energie z biomasy je podle autora využívání odpadního tepla při zpracování biomasy (např. při kompostování). V praxi má kromě výroby metylesteru kyselin bioolejů největší využití především spalování biomasy a výroba bioplynu anaerobní fermentací. V České republice není dostatek lesní odpadní biomasy, proto je třeba využívat jiných zdrojů biomasy, zejména cíleného pěstování energetických plodin.

Způsoby získávání energie z biomasy dle Moudrého J. a Kalinové J. (2004):

• **Termochemická přeměna (suché procesy):**

- spalování (produktem je vysokopotenciální teplo),
- zplynování (produktem je topný plyn),
- pyrolýza (produktem je bioolej a dehet).

• **Biochemická přeměna biomasy (mokrý procesy):**

- metanové kvašení (anaerobní digesce, výroba bioplynu),
- aerobní fermentace (kompostování, výroba fermentovaného substrátu),
- alkoholové kvašení (fermentace, výroba etanolu).

Nahrazením fosilních paliv biopalivem se snižují celkové emise skleníkových plynů, neboť použití biomasy má nulovou bilanci CO<sub>2</sub>. Spalováním rostlinných paliv emise oxidu uhličitého nenarůstají, protože téměř stejné množství oxidu uvolněného spálením se spotřebovává z atmosféry při fotosyntetických procesech tvorby biomasy (Váňa J., 1998). Rostoucí biomasa totiž tímto procesem zpětně váže z ovzduší oxid uhličitý, jež je produkován při spalování a stabilizuje tak globální cyklus uhlíku (Libra M. a Poulek V., 2007).

## 2.4.1 Trávy jako energetická surovina

Jako energetického zdroje lze využít fytomasu některých druhů trav zejména na stanovištích s vyšší nadmořskou výškou (nad 400 m n.m.) a vyšší svažitostí terénu (erozní ohrožení). Trávy jsou jednoleté nebo vytrvalé rostliny patřící do čeledi lipnicovité. Při dobrém založení porostu a vhodné péči během vegetace dávají stabilní výnosy po více let. Většina trav má širokou ekologickou amplitudu a lze je pěstovat v různých půdně - klimatických podmínkách. Přesto mezi jednotlivými druhy trav jsou z agroekologického hlediska zřejmé určité rozdíly. Z řady důvodů jsou doporučovány vytrvalé druhy (Stražil Z. et al., 2011).

Jednou z funkcí travních porostů je produkční funkce, která je dána jejich vícesečností. U travních porostů extenzivně využívaných, které mají nízkou úroveň výživy, se výnosy pohybují okolo  $1,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny. V podmínkách ČR se v závislosti na vláhovém a výživovém režimu průměrné výnosy na TTP pohybují na úrovni  $3,2 - 3,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny. V případě hnojení je možno zvýšit produkci až na  $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny. Mezi produkční druhy patří jílek vytrvalý, bojínek luční, chrastice rákosovitá, srha laločnatá a také psárka luční (Skládanka J. et al., 2014).

Z energetického hlediska lze travní fytomasu využívat pro přímé spalování nebo na kogeneraci (výrobu elektřiny a tepla) (Frydrych J. et al., 2001; Kára J. et al., 2004; Strašil Z., 2008) nebo pro výrobu bioplynu (Geber U., 2002). Uvažuje se také o jejím využití v papírenském průmyslu (Saijonkari-Pahkala K., 2001). Tradičně je fytomasa trav využívána pro krmení polygastrů a to v zeleném stavu (čerstvá píče) nebo jako konzervovaná objemová píče (seno, senáž, siláž) (Houdek I., 2010; Kohoutek A. et al., 2010; Niemelainen O. et al., 2001).

Pro energetické využití lze použít odpadní fytomasu z úhorů, luk a pastvin nebo z porostů cíleně pěstovaných trav, které lze pěstovat jako travní směsi nebo jako monokultury. Pro energetické využití na spalování se doporučují travní monokultury. Výnosový potenciál vhodných trav pěstovaných jako monokultura je 8 až 9 krát vyšší než ze spontánních úhorů (Frydrych J. et al., 2001).

Váňa J. (2001) považuje za nejlepší způsob energetického využití trávy výrobu bioplynu. Z 1 t čerstvé trávy nebo travní senáže můžeme získat  $130 - 150 \text{ m}^3$  bioplynu, což představuje energii cca 3500 MJ (868 kWh). Tato práce se ovšem bude v dalších kapitolách převážně věnovat energetickému využití travní biomasy pro spalování.

### **2.4.1.1 Využití travní biomasy pro spalování**

Spalování je nejstarší a i dnes nejvíce rozšířenou termochemickou přeměnou biomasy. Při teplotách vyšších než  $660 \text{ }^\circ\text{C}$  dochází k rozkladu organického materiálu. Spalování biomasy slouží k výrobě tepla, páry nebo elektrické energie (Šimon J. a Strašil Z., 2000).

Využití biomasy jako OZE formou spalování je možné v bioelektrárnách, ale podstatně důležitější je jeho role v menších teplárnách. Teplo může být využito například k vytápění objektů nebo k ohřevu vody. Ke spalování se používají kamna a

kotle různých velikostí a výkonů. Výkon kotlů může být až 3 000 MW. Konstrukce musí být speciálně uzpůsobená pro spalování fytomasy. V současnosti je spalování biomasy po technické stránce stále zdokonalováno. Obsah vody by měl být u stébelnin nižší než 20 %, v některých případech je nutné dosoušení (Fuksa P., 2009). Palivo je také nezbytné upravit do určitých standardizovaných tvarů. Šnobl J. et al. (2004) uvádí například obří kvádrové balíky, balíky válcového tvaru, brikety nebo pelety. Hutla P. et al. (2004) dodává, že přímé spalování, kdy je palivo dodávané ve formě balíků, je vhodné ve velkých topeništích. Vhodným rozdrůžovadlem jsou pak balíky převedeny do formy, kdy je možno materiál mechanicky a pneumaticky dodávat do kotle.

Pro spalování je důležitým faktorem energetický obsah spalovaného materiálu (Kára J. et al., 2004). Šnobl J. et al. (2004) uvádí přibližnou výhřevnost stébelnatých plodin 18 MJ na kilogram sušiny. Tento druh biomasy podle něj obsahuje asi 8 % popelovin. Kára J. et al. (2004) dodává, že průměrná energetická hodnota sušiny fytomasy stébelnatých plodin je podobná hodnotám hnědého uhlí používaného při vytápění v domácnostech.

U travní fytomasy určené na spalování se většinou uvažuje o jednorázové sklizni. Je třeba si vybrat zda sklízet v době největšího nárůstu fytomasy, pozdě na podzim nebo brzy na jaře. Obecně největší nárůst fytomasy je u většiny plodin v době kvetení nebo těsně po odkvětu. Potom dochází k postupné ztrátě fytomasy. V prvním termínu sklizně (před metáním) je obsah vody ve fytomase mezi 60 - 80 %. Takto vlhká fytomasa se dá přímo využít pouze na výrobu bioplynu. Pokud by se měla používat pro účely spalování přímo v kotlích nebo na výrobu pelet nebo briket je třeba ji dosušet, za příznivého počasí přímo na poli nebo uměle v sušárnách. V těchto případech je třeba počítat s vícenáklady na uvedené operace, které nejsou hlavně v případě dosoušení teplým vzduchem nejnižší (Strašil Z. et al., 2011).

Strašil Z. et al. (2011) ještě dodává, že při pozdně podzimním termínu je u většiny energetických vytrvalých rostlin včetně trav obsah vody většinou i nadále relativně vysoký a dosahuje hodnot 30 - 70 %. Výnos není o mnoho menší v porovnání s prvním termínem.

Jarní sklizeň je doporučována také proto, že při pozdějších termínech sklizně se snižuje obsah draslíku, chlóru, dusíku a síry ve fytomase chrastice i dalších plodin oproti raným termínům sklizně. Množství živin obsažených v rostlinách je na jaře téměř poloviční v porovnání s rostlinami sklizenými např. v srpnu. Jako důvod se

uvádí translokace živin do kořenové části a jejich vyluhování během zimy (Stražil Z. et al., 2011). Při porovnání spalování fytomasy trav z různých termínů sklizně byly zjištěny výrazně nižší emise NO<sub>x</sub> při spalování fytomasy z pozdějších termínů sklizně (Hutla P. a Jevič P., 2009).

Podle Fuksy P. (2009) jsou v českých podmínkách pro spalování vhodné, z jednoletých trav, například lesknice kanárská a proso seté. Výhodnější je ale pěstování trav víceletých a vytrvalých. Jedná se zejména o ovsík vyvýšený, psineček veliký, kostřavu rákosovitou, sveřep bezbranný, sveřep horský, chrastici rákosovitou a ozdobnici čínskou. Potenciálně vhodné by mohly být i další trávy: jílek mnohokvětý, bojínek luční, psárka luční, rákos obecný, třtina křovištní a jiné.

## 2.5 Charakteristika vybraných energetických druhů rostlin

Jak uvádí Csete S. et al. (2011) mezi nejvíce prostudované a využívané energetické plodiny ve světě patří chrastice rákosovitá, ozdobnice čínská, kukuřice i čirok. O těchto rostlinách již byly zjištěny značné informace od taxonomických vztahů až po technologie sklizně.

Následující kapitoly se však budou zabývat jinými dvěma rostlinami, a to sice *Elymus elongatus*, která se, jak píše Csete S. et al. (2011), pěstuje přes 100 let v různých částech světa a pro různé účely, kam lze zařadit půdní sanaci, protierozní opatření i krmivo pro hospodářská zvířata. Potenciál pro výrobu energie zatím nebyl využit.

Druhou plodinou je pak *Miscanthus × giganteus*, se kterou se jak uvádí Holub P. (2007) začaly roku 1989 pokusy s využitím jako obnovitelného zdroje energie a materiálu na průmyslové zpracování. Hlavně v Německu a Rakousku probíhala řada výzkumů jeho pěstování a rozmnožování.

### 2.5.1 *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1

Nedávno bylo zavedeno v Maďarsku pěstování odrůdy Szarvasi-1, což je odrůda poddruhu *ponticus*, druhu *Elymus elongatus* pro tvorbu biomasy. Sklízena



biomasa se využívá formou pevných biopaliv k výrobě energie, dodává Csete S. et al. (2011).

*Elymus elongatus* je ponticko-středomořský druh, který je rozšířen po pobřeží Středozevního moře od Pyrenejského poloostrova až k moři Černému. V této oblasti se nacházejí 2 poddruhy, jež jsou vzájemně dosti odlišné. Prvním poddruhem je *Elymus elongatus* subst. *ponticus* nacházející se ve východní oblasti Středomoří a Maďarsku, který je vyšší a robustnější. Druhým poddruhem je podstatně kratší a stavbou jemnější *Elymus elongatus* subst. *elongatus*. Ten se vyskytuje v západní části Středozevního moře, uvádí Csete S. et al. (2011). Z roku 1909 je zmínka o rostlině s názvem *Elymus elongatus*, jako o krmivu pro hospodářská zvířata ze států USA, Kanady a také Austrálie (Schrabauer J., 2010).

Szarvasi-1 je vytrvalá tráva tvořící nitkovité kořeny, které pronikají do půdy ve velkém množství až do hloubky 2,5 m (Bikazugi mezőgazdasági nonprofit KFT, 2004). Šedozevný stonek je řídce olistěný, robustný a lysý (Csete S. et al., 2011). Listy jsou šedozevné, tuhé, 0,2 až 0,8 cm široké a 10 až 30 cm dlouhé. Jejich povrch je drsný a vrchní část je intenzivně žebrovaná (Schrabauer J., 2010). Květenství tvoří rovný, 20 až 30 cm dlouhý lichoklas, složený z kláskových shluků (Bikazugi mezőgazdasági nonprofit KFT, 2004). Klásek se skládá ze 7 až 15 kvítků. Plevy jsou tupé nebo uťaté (Csete S. et al., 2011). Plodem je obilka tvaru kopí o velikosti 0,8 až 1,2 cm. Hmotnost tisíce semen je 2,8 - 3,8 g (Bikazugi mezőgazdasági nonprofit KFT, 2004). Povrch stonku a listů je sklerenchymatický a pokrytý silnou pokožkou, což naznačuje toleranci odrůdy vůči suchu. Stéblo může dosáhnout výšky 180 - 220 cm v optimálních růstových podmínkách (Csete S. et al., 2011).

### **2.5.1.1 Taxonomie rostliny**

Problémem druhu *Elymus elongatus* je, stejně jako u mnoha jiných druhů rostlin, odlišná nomenklatura. *Elymus elongatus* má mnoho synonym, poukazuje Kažmierski T. (2008).

K synonymům *Elymus elongatus* patří: *Triticum elongatum*, *Thinopyrum elongatum*, *Agropyron elongatum*, *Elytrigia elongata*. Je možné se setkat i s anglickým názvem Tall Wheatgrass (The Plant List, 2010).

### 2.5.1.2 Botanická charakteristika

Botanické zařazení rostliny je následující: říše - rostliny (*Plantae*), oddělení - semenné rostliny (*Spermatophyta*), třída - jednoděložné (*Monocotyledones*), řád - lipnicotvaré (*Poales*), čeleď - lipnicovité (*Poaceae*), rod - pýrovník (*Elymus*), druh - *Elongatus* (European Environment Agency, 2012).

### 2.5.1.3 Původ odrůdy

Odrůda Szarvasi-1 byla vyšlechtěna jako specifický, suchu odolný a robustní hybrid rodu *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* populací z Maďarska a různých oblastí Pontu. Proces šlechtění byl proveden ve městě Szarvas ve východním Maďarsku, ale v poslední době byla nová odrůda zapojena do rozsáhlých pěstitelských studií v různých částech této země. Odrůda Szarvasi-1 byla oficiálně uznána maďarským Centrálním hospodářským úřadem v roce 2004 (Csete S. et al., 2011). Typický genotyp je výsledkem několika desetiletí šlechtitelské práce. Největší podíl na šlechtění nese Dr. János Janowszky ve spolupráci se svým synem Zsoltem Janowszky (Janowszky Z. et al., 2012). Odrůda Szarvasi-1 byla zapsána 19. 2. 2004 v maďarském katalogu odrůd (Mezőgazdasági szakigazgatási hivatal kiadványa, 2008). V současné době není uvedena v seznamu odrůd zapsaných ve Státní odrůdové knize ČR k 15. 6. 2017 žádná odrůda nebo forma (ÚKZÚZ, 2017).

### 2.5.1.4 Nároky na stanoviště

*Elymus elongatus* se klasifikuje jako C3 rostlina (Scheinost P., 2008). Kultivar Szarvasi-1 snáší podobné půdní podmínky jako běžné obiloviny, co se týče půdní textury, živin a obsahu vody. Nicméně se rychleji vyvíjí na lehčích půdách, ve srovnání se středními nebo těžkými půdami. Přírodní stanoviště této rostliny se vyskytují převážně v centrální části Maďarska, kde se nachází oblasti s písčitou půdou, přirozené populace se však vyskytují i na jílovitých půdách zasolených bažin. Vzhledem k biotopu přírodních populací *Elymus elongatus* lze předpokládat, že i odrůda Szarvasi-1 preferuje spíše alkalické půdy o hodnotách 6,5 - 10 pH. Navzdory původnímu alkalickému stanovišti může vykazovat výraznější produkci biomasy i při neutrálních hodnotách pH, stejně jako nejběžnější obiloviny. Mírně kyselé půdy

nebrání dobré produkci biomasy, ale půdy pod 5,5 pH negativně ovlivňují výnos (Csete S. et al., 2011).

Životnost Szarvasi-1 může být 10 až 15 let, ale pro změny v produkci biomasy v průběhu tohoto časového úseku dosud nejsou kvalitní výsledky. Szarvasi-1 dobře snáší vysoké letní teploty nepřekračující 30 - 35 °C, odrůda je odolná i chladným zimním teplotám pod -35 °C. Výsledky ze zahraničních šetření (Maďarsko, Čína, Turecko) potvrdily, že odrůda Szarvasi-1 výborně snáší 200 - 2100 mm srážek ročně (Csete S. et al., 2011).

Plný výnos přináší v druhém roce po jarním výsevu. Největší nárůst hmoty vykazuje časně z jara a na podzim (Schrabauer J., 2010). Výnos sušiny se pohybuje od 10 do 15 t · ha<sup>-1</sup>. Dosahuje výhřevnosti 14 - 17 MJ · kg<sup>-1</sup> sušiny materiálu, což se blíží hodnotám RRD nebo hnědého uhlí (Bikazugi mezőgazdasági nonprofit KFT, 2004).

### **2.5.1.5 Osevní postup a agrotechnika**

Porost se zakládá na dobu 10 - 15 let (Janowszky Z. et al., 2012). Podobně jako ostatní trávy je dobré zařadit Szarvasi-1 na nezaplevelený pozemek (Petříková V. et al., 2006).

Csete S. et al. (2011) přirovnává přípravu půdy pro pěstování Szarvasi-1 k ostatním obilninám jako je třeba pšenice, oves a ječmen. Janowszky Z. et al. (2012) píše, že příprava půdy se nijak neliší od jiných druhů vytrvalých trav. Bikazugi mezőgazdasági nonprofit KFT (2004) uvádí, že se pro pěstování a sklizeň nevyužívá žádných speciálních strojů.

Szarvasi-1 je možné vysévat od dubna do září za dostatečné vlhkosti půdy. Klíčení je většinou dobré. Růst v počátečních fázích rostlin je pomalý (Scheinost P., 2008). Vysévá se přibližně 30 - 40 kg · ha<sup>-1</sup>. Doporučená doba setí je od 1. do 20. září. Semena se vysévají do hloubky 2 - 2,5 cm s výsevní vzdáleností 12 - 15 cm (Csete S. et al., 2011). Pro tvorbu fertálních stébel vyžaduje období jarovizace jako ozimé obiloviny (Grunewald J., 2012).

### **2.5.1.6 Ochrana rostlin**

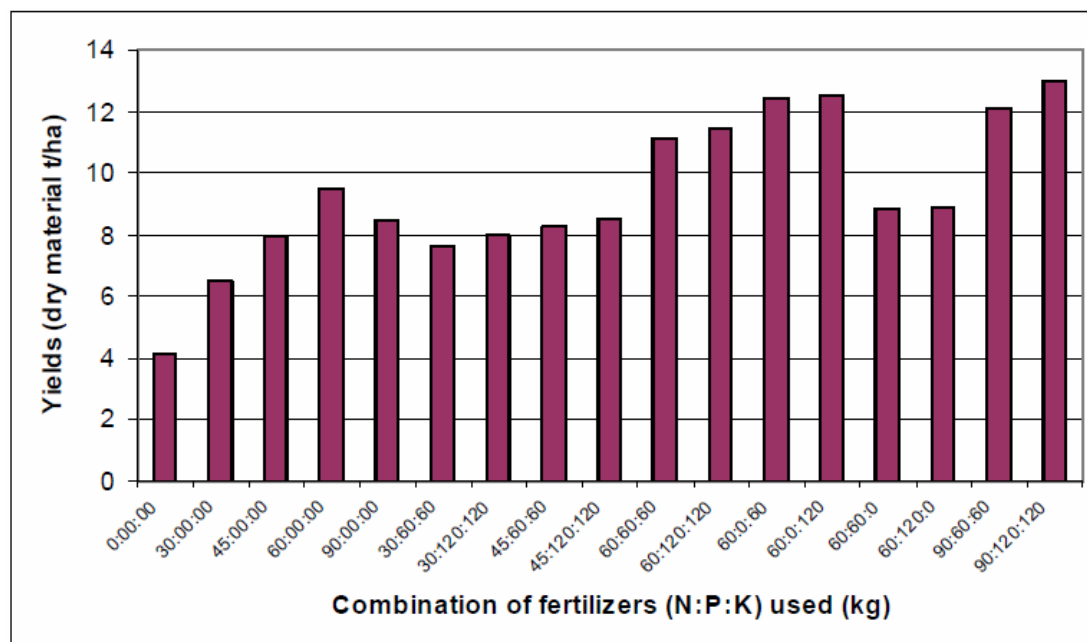
Szarvasi-1 je až do fáze třetího listu velmi konkurenčně slabá. Plevely by měly být odstraněny před setím přípravkem na bázi glyfosátu (např. Roundup). Další

používání pesticidů se doporučuje až po fázi čtvrtého listu (Grunewald J., 2012). Po této růstové fázi se aplikují herbicidy k ochraně proti plevelům (Csete S. et al., 2011). Rostlina je odolná proti chorobám rostlin (hnědé a červené rzi, padlí a dalším) (Bikazugi mezőgazdasági nonprofit KFT, 2004).

### 2.5.1.7 Hnojení

Dusík hraje důležitou roli v produkci biomasy a zvyšuje její hmotnost v každé fenofázi, zatímco draslík a fosfor byly prokázány jako důležité pouze v časně fenofázi (jarní a kvetoucí období a začátek doby květu) (Csete S. et al., 2011). Schopnost produkovat tak vysoký výnos, jako je  $10 - 15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny za rok lze pouze za předpokladu dodání  $68 - 85 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  na seč (Bikazugi mezőgazdasági nonprofit KFT, 2004). Csete S. et al. (2011) uvádí, že již  $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  zdvojnásobuje výnos suché biomasy, jak je vidět v grafu 4. Dávky vyšší jak  $60 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$  však samy o sobě nezvýší další výnos biomasy a to v důsledku nedostatku dalších potřebných živin, jako je draslík a fosfor. Nejlepší poměr pro maximální výnos biomasy tří hlavních živin je  $1 : 1 : 1$  nebo  $3 : 2 : 2$ .

**Graf 4: Výtěžnost biomasy v závislosti na hnojení N, P, K (solonec poblíž Szarvasu).**



(Csete S. et al., 2011)

Je prokázáno, že maximální produkce sušiny plodiny energetické trávy Szarvasi-1 závisí na typech půdy a zásobování vodou. Optimální hladina podzemní vody se odhaduje na hloubku mezi 1 a 3 metry v průběhu celého vegetačního období. Závěrem lze tvrdit, že v závislosti na typu půdy, dostupnosti živin a srážek, plodina energetické trávy Szarvasi-1 může produkovat 10 - 25 t · ha<sup>-1</sup> sušiny za rok (Csete S. et al., 2011).

### **2.5.1.8 Sklizeň**

Sklizeň se nejčastěji provádí dvakrát ročně, první seč do konce června, druhá seč do konce září (Moosbauer J. a Rieglsperger G., 2013). Tento způsob sklizně se využívá pro následnou výrobu bioplynu (Janowszky Z. et al., 2012). Výška řezu by neměla být menší než 15 cm (Grunewald J., 2012).

Při využití materiálu pro průmyslové účely nebo spalování se zdá smysluplné provádět sklizeň pouze jednou za rok, protože rostliny obsahují vysoký podíl celulózy a ligninu, což je prospěšné pro tyto účely a náklady na sklizeň mohou být udržovány na nízké úrovni. Termín sklizně lze hledat na konci srpna, kdy je prohrátá půda. Sklizeň se provádí pomocí konvenční technologie na zpracování sena. Hmota může být odklizená ve formě kulatých a hranatých balíků, případně řezanky (Schrabauer J., 2010). Oproti RRD jednoznačnou výhodou tvoří každoroční sklizeň, kdy jsou účinně využity zpracovatelské kapacity. Výroba osiva je jednoduchá a ekonomicky nenáročná (Bikazugi mezőgazdasági nonprofit KFT, 2004).

### **2.5.1.9 Využití produktu**

Podle neziskového výzkumu Agentury pro rozvoj zemědělství v Szarvas (Maďarsko) je odrůda Szarvasi-1 charakterizována jako vhodná pro spalování. V porovnání s ozdobnicí čínskou obsahuje nižší hladiny sloučenin síry a dusíku (Schrabauer J., 2010). V závislosti na době sklizně může být energetická tráva použita jako krmivo pro přežvýkavce, jako fermentační substrát, nebo jako pevné palivo. Za zmínku stojí také protierozní a meliorativní funkce rostliny. Tato tráva se uplatňuje i v dalších oblastech použití. Může nahrazovat dřevo jako průmyslová surovina pro výrobu celulózy a papíru (Janowszky Z. et al., 2012).

## 2.5.2 *Miscanthus* × *giganteus*

Holub P. (2007) se o hybridu *Miscanthus* × *giganteus* zmiňuje jako o vytrvalé trávě vysokého (4m) vzrůstu. Původně pochází z východní Asie (Japonsko, Čína). Hybrid *giganteus* je kříženec *Miscanthus sachariflorus* a *sinensis*. Velmi rozšířený výraz sloní tráva je falešný. Taková rostlina existuje, ale nemá s ozdobnicí nic společného. *Miscanthus* se dostal do Evropy už začátkem třicátých let 20. století jako ozdobná rostlina. Porvaz P. (2008) píše, že jako vytrvalá rostlina typu C4 dokáže optimálně využít vody, živin a světla na asimilaci. Holub P. (2007) dále uvádí, že pokud vám stačí průměrné výnosy, není zapotřebí hnojit. Semeno v našich podmínkách nedozraje, proto se množí podzemními oddenky (rhizomy). Oddenek je dřevnatý a ročně naroste kolem 10 až 20 nových. Odrůda *giganteus* je odolná na vymrzání a dosáhne za příznivých podmínek ročního výnosu sušiny i 40 tun z hektaru. Průměr výnosu je ale kolem 15 až 18 t · ha<sup>-1</sup>. Je odolná proti chorobám a škůdcům. Zatím nejsou žádné známy. *Miscanthus* × *giganteus* je v České republice povolený jako energetická rostlina a nejsou k jeho pěstování výhrady pro nepříznivé vlivy na životní prostředí jako např. u křídlatky.

Polní pokusy s touto rostlinou jsou v současné době prováděny skoro ve všech zemích EU a v USA (Weger J. et al., 2012). Pěstování je však omezováno dvěma nevýhodami. Porost může v prvním roce po založení za nepříznivých podmínek přes zimní období vymrzat a další nevýhodou je drahá sadba (Petříková V. et al., 2006).

### 2.5.2.1 Botanická charakteristika

*Miscanthus* × *giganteus* se botanicky řadí do třídy jednoděložné (*Monocotyledoneae*), čeledi lipnicovité (*Poaceae*), tribus vousatkovité (*Andropogoneae*) (Stražil Z. a Moudrý J., 2011). Čepele listů jsou až 1 m dlouhé, 1 cm široké. Listy jsou lysé, středně zelené, vytrvávající přes zimu, kdy často bronzově zlátnou. Oddenek je krátký, často dřevnatý (Weger J., 2012). Latu má širokou, okolíkatě patrovitou, větévky odvislé. Počet chromozómů  $2n = 38$  (Petříková V. et al., 2006).

## 2.5.2.2 Nároky na stanoviště

*Miscanthus × giganteus* se nejlépe daří na lehčích půdách, spíše v teplejších oblastech, do nadmořské výšky 700 m, a s množstvím srážek kolem 500 až 600 mm · rok<sup>-1</sup>. Je lepší vyšší hladina podzemní vody, ale ne více než 60 cm. Nesnáší podmočené půdy. Přesto při dosahování 40 tun sušiny z hektaru je třeba aspoň 1 000 mm srážek nebo podzemní zavlažování. Optimální pH půdy je 5 - 6,5 (Holub P., 2007). Stražil Z. (2009) doporučuje humózní písčité půdy s malým nebo žádným zaplevelením vytrvalými plevele. Předpokladem vysokých výnosů fytomasy jsou, kromě vysokého množství srážek, vyšší teploty vzduchu v průběhu vegetační doby, tj. od konce května do konce září. Petříková V. et al. (2006) ještě doplňuje, že plodina dokáže dobře hospodařit s vodou, její koeficient transpirace je 250 litrů na kg sušiny.

## 2.5.2.3 Osevní postup a agrotechnika

Sazenice nebo rizomy je dobré sázet po zlepšujících předplodinách, jako jsou okopaniny (cukrovka, brambory) dále luskoviny a obiloviny (Stražil Z., 2009).

*Miscanthus × giganteus* jako vytrvalá rostlina by měla být založena minimálně na 15 - 25 let. Na podzim se provede orba do hloubky cca 20 cm a půda se připraví stejně jako u kukuřice nebo brambor. Dobré výsledky byly dosaženy přihnojením kejdou hned na podzim. (Holub P., 2007). Weger J. (2012) dodává, že na podzim je nutno provést podmítku s následující hlubokou orbou. Před sázením na jaře následuje příprava seťového lůžka s prokypřením půdy do hloubky 10 cm (pro mechanické vysazování), mechanické a chemické hubení plevelů.

Protože se oddenky získají až z jara, musí se postupovat rychle se zasetím do půdy, aby nevyschly. Jsou totiž citlivé na výsušky, a proto je lepší je dostat do půdy už v dubnu. S důvodu dostatečné vláhy se doporučuje i vysetí v říjnu až do listopadu (Holub P., 2007). Stražil Z. (2009) doplňuje, že porosty *Miscanthus × giganteus* lze založit vysetím semen, pomocí sazenic vypěstovaných z tkáňových kultur nebo pomocí oddenků. Sazenice se vysazují z odkopků, nebo vypěstované in vitro, nejlépe takové, které přečkaly v kořenáčích již jednu zimu. Termín sázení je v době, kdy již se nevyskytují jarní mrazíky a teplota půdy je vyšší než 10 °C. Výsadba se provádí od poloviny května do poloviny července. Při výsadbě se doporučuje kořenové baly

sazenic navlhčit a vysazený porost pokud je možnost zavlažovat. Porosty zakládané z rhizomů je třeba sázet dříve, než rhizomy začnou pučet, aby se mladé výhonky při manipulaci neolámaly.

Půda se připravuje pouze do hloubky výsadby, aby nebyla porušena kapilarita půdy. Podobně jako u topinamburu také u *Miscanthus × giganteus* se doporučuje jarní vyorání rhizomů, neboť je z mnoha stránek výhodnější. Přes zimní období dojde k narušení komplexního balu kořenů, rhizomů a půdy mrazem. V této době jsou baly méně ztuhlé, proto je při použití velkovýrobní technologie práce bramborových sklízeců spolehlivější. Rhizomy také bez delšího uskladnění tolik nevysychají (Kára J. et al., 2005).

Rhizomy je možné zasadit ručně do strouhy mezi 5 - 8 cm hloubky a přišlápnout nohou nebo za použití poloautomatického sázeče brambor, který se musí trochu přizpůsobit na velikost rhizomů. Je možné použít i stroje na výsadbu lesních stromků. Šířka řádků se přizpůsobí mechanizaci, doporučeno je 80 - 90 cm. Vzdálenost rostlin se řídí záměrem pěstování. Všeobecně se sází 1 rostlina na m<sup>2</sup>. Na hektar je zapotřebí kolem 10 000 - 12 000 rhizomů. Velmi důležité je přiválcování, aby se oddenky mohly zásobit vlhkem přes kapilární systém v půdě a nevyschly (Holub P., 2007).

Porost *Miscanthus × giganteus* je v prvním roce výsadby náchylný k vymrzání. Jako ochranné opatření lze porost na zimu přikrýt např. slámou ve vrstvě 100 - 150 mm, nebo vysévat do meziřádků přes zimu vymrzající plodinu např. hořčici bílou, která tvoří přes zimu ochranný mulč (Petříková V. et al., 2006).

#### **2.5.2.4 Ochrana rostlin**

Použití herbicidů proti plevelům se doporučuje proti dvouděložným plevelům jako přípravek Lanacil v dávce 1 kg · ha<sup>-1</sup>, nebo Rounup (2 - 3 l · ha<sup>-1</sup>). Herbicid působí značně dlouhou dobu. Zaplevelení v prvním roce, začátkem července, je možno předejít mechanickým hubením plevelů např. pomocí prutových bran. Druhým rokem většinou už není třeba používat herbicidy, protože opadávající listová hmota vytváří vrstvu mulče, která zabraňuje růstu plevelů (Holub P., 2007).



### 2.5.2.5 Hnojení

Na dobře zásobených půdách se obejde *Miscanthus × giganteus* prvním rokem bez hnojení. Na půdách s menší zásobou živin se doporučuje hnojit prvním rokem do poloviny června jednorázově do  $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  N kvůli snížení možnosti vymrzání. V dalších letech se velikost dávky N má přizpůsobit zásobám živin v půdě a dosahovaným výnosům (Strašil Z., 2009). V průměru se doporučuje hnojit druhým rokem a další léta  $50 - 100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  N,  $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  P a  $70 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  K, nejlépe na jaře a dusík od jara do poloviny července (Weger J. et al., 2012). Holub P. (2007) však dodává, že *Miscanthus × giganteus* nepotřebuje hnojit vůbec, pokud máte dostatek živin v půdě a budete spokojeni s průměrnými výnosy kolem  $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Samozřejmě je možno hnojit organickými hnojivy, třeba kejdou skotu v dávce  $30 - 40 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

### 2.5.2.6 Sklizeň

Sklizeň je možno provádět pojízdnými samochodnými řezačkami, se kterými se sklízí kukuřice od listopadu do března. Ze sklizené slámy je možno lisovat pelety. Pelety mají hmotnost cca  $500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Sklizenou slámu je možno balíkovat, pro stavební účely sklízet celou (stavební materiál) (Strašil Z., 2009). *Miscanthus × giganteus* se v prvním roce (rok výsadby) nesklízí, v druhém roce dává do  $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny (12 - 15 % zbytk. vlhkosti), ve třetím roce a dalších  $20 - 25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny, při intenzivním hospodaření i více než  $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Převažuje sklizeň po zimě (únor, březen), neboť odpadnou starosti s případným dosoušením. Při sklizni po zimě je však třeba počítat se ztrátami celkové nadzemní fytomasy 30 - 40 % (Weger J. et al., 2012) a (Strašil Z., 2009).

### 2.5.2.7 Likvidace porostu

Pro konečnou likvidaci porostu je možno použít několika metod. Jednou je chemická likvidace nově rašících výhonků na jaře, další možností je vyorání rhizomů na podzim (rotačním kultivátorem) na povrch půdy, kde rhizomy přes zimu vymrznou (Holub P., 2007). Strašil Z. (2009) však poukazuje na jistá rizika chemické likvidace nově rašících výhonků, která se provádí na jaře, protože se mohou vyskytnout potíže při zakládání jiné plodiny.

## 2.5.2.8 Využití produktu

S hybridem *Miscanthus × giganteus* se ve většině projektů ze západní Evropy počítá hlavně pro energetické účely na výrobu tepla (přímé spalování - kogenerace nebo pyrolýza). Výhřevnost celých rostlin je kolem  $19,0 \text{ GJ} \cdot \text{t}^{-1}$  sušiny. Lze z ní vyrábět brikety a peletky na topení, nebo jí využít jako podestýlku pro koně. Vysoký obsah celulózy kolem 40 % řadí *Miscanthus × giganteus* k velkým konkurentům dosud běžně používaných dřevin pro výrobu buničiny. Rostliny lze dobře využít i ve stavebním průmyslu. Lze je použít jako materiál pro výrobu dřevovláknitých desek, dřevitých lepenek, rohoží nebo došek. Z rostlin se dále vyrábějí snadno likvidovatelné obalové materiály (Weger J. et al., 2012). Holub P. (2007) ještě doplňuje, že se dá též dobře využít při výrobě biolihi. Při pokusech ve výzkumném ústavu ATZ v Německu, bylo tepelně-tlakovou hydrolýzou dosaženo výroby kolem  $6000 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$  bioethanolu. To stačí menšímu vozidlu na celý rok.

## 2.5.2.9 Ekonomika

*Miscanthus × giganteus* je neekonomičtější plodina ve střední Evropě v poměru vložené energie na pěstování a sklizeň k výnosu energie ze získané hmoty. Následující tabulka (Tab. 1) (VURV v Linci), znázorňuje poměr k jiným rostlinám (Holub P., 2007).

**Tab. 1: Poměr vložené a získané energie z vypěstované hmoty.**

Rostlina	Energie input ( $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ )	Energie output ( $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$ )	porovnav. faktor
<i>Miscanthus</i>	9.223	300.000	32.53
RRDřeviny	6.003	180.000	29.99
Konopí	13.298	112.000	8.46
Oves	21.465	189.338	8.82
Řepka	19.390	72.000	3.76

(Holub P., 2007)

Sadba představuje největší nákladovou položku. Pokud bychom zakládali porost z oddenků, dal by se pořídit hektar za 90,000 Kč. Pokud bude k dispozici

sadba z vlastních rhizomů, vyjde založení porostu ještě levněji. V tom leží také možnost vydělat, pokud stoupne poptávka po této velmi ekonomické rostlině. Protože naroste ročně desetinásobek rhizomů, zúročí se investice ročně o desetinásobek. Lze to vidět jako koupi akcie „*Miscanthus × giganteus*“ s rozdílem, že její hodnota klesnout nemůže, jedině stoupnout (Holub P., 2007).

### 3. Cíle práce a hypotézy

Cílem práce je sledování a porovnání produkčního potenciálu energetických trav *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1 a *Miscanthus* × *giganteus*. Součástí praktické části práce byla účast na pokusu s pěstováním těchto dvou energetických rostlin, který dlouhodobě probíhá na experimentálním pozemku Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Mimo toho se práce také zabývá sledováním výnosových parametrů rostliny *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1 v závislosti na intenzitě a druhu hnojení.

#### Dílčí cíle:

- 1) Údržba experimentálních porostů daných energetických rostlin na pokusném pozemku Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích dle stanovené metodiky.
- 2) Sledování výnosových charakteristik *Elymus elongatus* subsp. *Pontius* cv. Szarvasi-1 a *Miscanthus* × *giganteus* tak, že se v předem zvolených obdobích odeberou vzorky trav pro stanovení jejich výnosu.
- 3) Porovnání výnosových parametrů vybraných energetických plodin v závislosti na typu rostliny a druhu a intenzitě hnojení.
- 4) Porovnání získaných dat s údaji z odborné literatury formou diskuse.

#### Hypotézy:

- 1) Tráva *Miscanthus* × *giganteus*, jako rostlina typu C4, dosáhne v průměru vyšších výnosů v porovnání s druhem *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1.
- 2) Tráva *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1 bude s největší pravděpodobností nejlépe reagovat na hnojení minerálními hnojivy, a proto ze všech variant poskytne nejvyšší výnosy.

# 4. Materiál a metodika

## 4.1 Charakteristika lokality

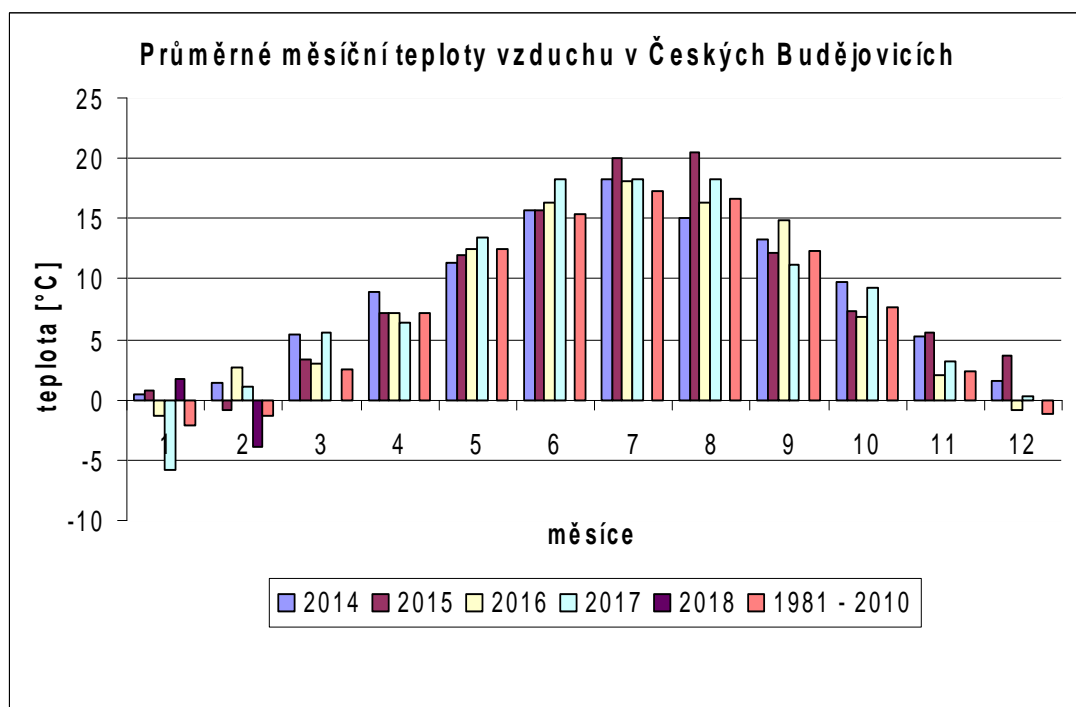
Pokusy byly prováděny maloparcelkovým způsobem na pozemku Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Ten se nachází v obilnářské výrobní oblasti v nadmořské výšce zhruba 380 m. Obhospodařovány byly experimentální porosty energetických rostlin Szarvasi-1 a *Miscanthus × giganteus* dle stanovené metodiky. Základní charakteristika klimatických podmínek dané oblasti je popsána v tabulce níže (Tab. 2). Podrobnější údaje o měsíčních teplotách a měsíčních srážkách jsou uvedeny v grafech níže (Graf 5 a Graf 6). Data byla získána z internetového portálu Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ).

**Tab. 2: Charakteristika oblasti České Budějovice.**

Nadmořská výška (m. n. m.)	380
Zemědělská výrobní oblast	Obilnářská
Půdní druh	Písčitohlinitý
Půdní typ	Kambizem pseudoglejová
pH půdy (KCl)	6,4
Průměrná teplota vzduchu 1981-2010 (°C)	7,4
Průměrná teplota vzduchu v roce 2014 (°C)	8,9
Průměrná teplota vzduchu v roce 2015 (°C)	9
Průměrná teplota vzduchu v roce 2016 (°C)	8,2
Průměrná teplota vzduchu v roce 2017 (°C)	8,3
Průměrný úhrn srážek 1981-2010 (mm)	687
Průměrný úhrn srážek v roce 2014 (mm)	676
Průměrný úhrn srážek v roce 2015 (mm)	531
Průměrný úhrn srážek v roce 2016 (mm)	681
Průměrný úhrn srážek v roce 2017 (mm)	649

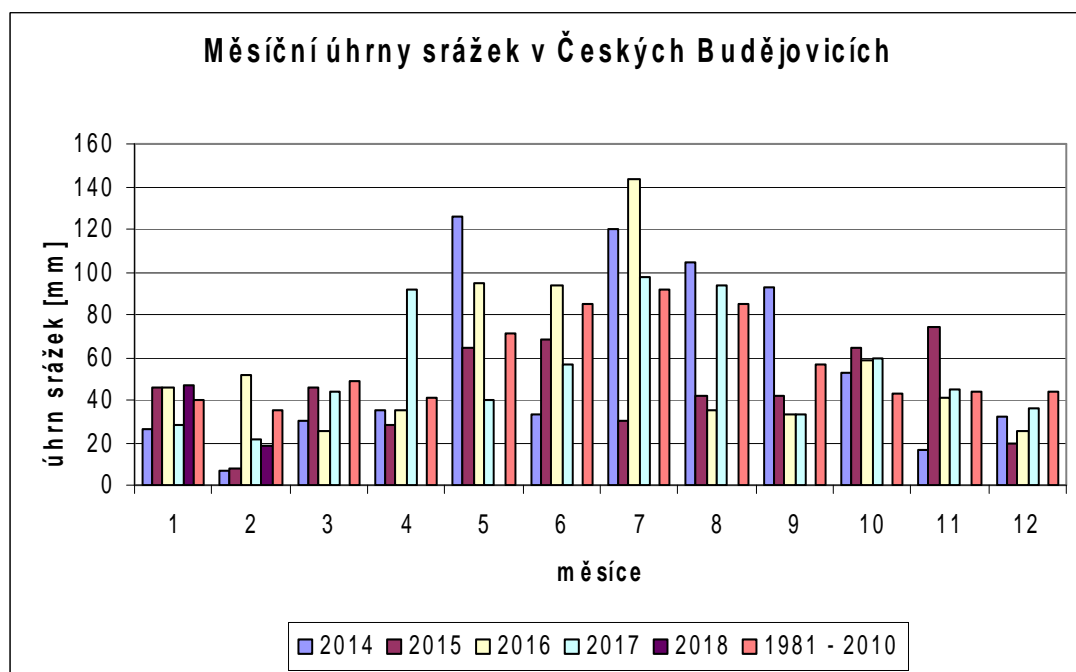
Zdroj: ČHMÚ (2018) a Kutil J. (2009)

**Graf 5: Průměrné měsíční teploty v Českých Budějovicích.**



Zdroj: ČHMÚ (2018)

**Graf 6: Měsíční úhrny srážek v Českých Budějovicích.**



Zdroj: ČHMÚ (2018)

## 4.2 Založení porostu a agrotechnika

Na počátku pokusu se na podzim roku 2012 na stanovišti v Českých Budějovicích provedla orba. Následující rok na jaře byla před setím připravena půda a 15. 4. 2013 byla aplikována hnojiva superfosfát trojitý ( $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) a síran amonný ( $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) v místech založení plodin Szarvasi-1 a *Miscanthus × giganteus*.

### 4.2.1 Založení porostu Szarvasi-1

Na pokusném pozemku bylo založeno 36 mikroparcelek pro účely sledování porostu *Elymus elongatus* odrůda Szarvasi-1. Políčka byla zakládána na jaře a na podzim 2013. Rozměry každého z políček činily  $10 \text{ m}^2$  ( $8 \times 1,25 \text{ m}$ ). Dvě třetiny parcel byly založeny za účelem pěstování biomasy vhodné pro přímé spalování. Poslední třetina parcel sloužila k zisku biomasy jako suroviny pro bioplynové stanice, byla proto obhospodařována dvousečně. V práci jsou popisovány agrotechnické operace a výsledky ze skupiny 12 parcelek založených na jaře, které jsou určeny pro přímé spalování. Čtyři políčka odrůdy Szarvasi-1 byla obhospodařována intenzivním způsobem, čtyři parcelky byly hnojeny digestátem a poslední skupina čtyř políček byla obhospodařována extenzivně, čili nebyla hnojena vůbec.

Před samotným založením porostu Szarvasi-1 byla provedena likvidace kultury staré. Tou byly monokultury ovsíku vyvýšeného (*Arrhenatherum elatius* L.) a sveřepu horského (*Bromus carharticus*). Likvidace proběhla formou aplikace neselektivního herbicidu Roundup. Poté následovala orba o střední hloubce. Samotné setí proběhlo 17. 4. 2013 a to v dávce  $35 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  Szarvasi-1 a  $250 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  krycí plodiny ječmene jarního. Po zasetí bylo provedeno válení. Při kontrole porostu 15. 5. 2013 byly parcelky s travami již značně zaplevelené. Následně byl 7. 6. 2013 aplikován herbicid STARANE 250 EC proti dvouděložným plevelům. Odplevelovací seč obou druhů trav byla provedena 14. 6. 2013. Následovalo přihnojení 5. 9. 2013 ledkem amonným v dávce  $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . V dalším roce kvůli vysokému zaplevelení porostu byl opět několikrát využit herbicid proti dvouděložným plevelům STARANE

250 EC. V předepsané dávce byl aplikován na všechny varianty 17. 4. 2014 a poté znovu 19. 5. 2014.

### **4.2.2 Založení porostu *Miscanthus × giganteus***

Na jaře 2013 byly na pokusných parcelkách pozemku Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích vysázeny odkopky oddenků získané z Lukavce u Pacova. Výsadba proběhla 22. 4. 2013 na parcelky o rozměrech 10 x 5 m ve dvou variantách v řádcích vzdálených 1 m od sebe. Varianty se od sebe liší vzdáleností rostlin v řádku. V první variantě byla vzdálenost rostlin v řádku 1 m, ve druhé pak 0,5 m s tím, že mezi oběma variantami byla ponechána mezera 2 m. Obě varianty byly určeny pro přímé spalování a byly obhospodařovány intenzivně, tedy za použití průmyslových minerálních hnojiv. Tato práce se však bude zabývat pouze první variantou, tedy tou, kde byly rostliny v řádku od sebe vzdáleny 1 m. Při kontrole porostu 2. 5. 2013 se dalo sledovat poměrně dobré obražení oddenků *Miscanthus × giganteus*. Zaplevelení bylo řešeno 7. 6. 2013, kdy byl aplikován herbicid STARANE 250 EC proti dvouděložným plevelům. 1. 7. 2013 proběhlo dosázení nevzešlých sazenic *Miscanthus × giganteus*. Místo odplevelovací seče bylo 8. 8. 2013 provedeno prosekání plevelu v řádcích. Následovalo přihnojení 5. 9. 2013 ledkem amonným v dávce  $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . V dalším roce byl kvůli vysokému zaplevelení porostu opět několikrát využit herbicid proti dvouděložným plevelům STARANE 250 EC.

## **4.3 Udržování porostů a způsoby hnojení**

Rostliny Szarvasi-1 byly, jak je výše uvedeno, obhospodařovány trojím způsobem. Hnojiva byla na porost aplikována každoročně ihned po provedené sklizni, a to ve stejných dávkách.

U prvního způsobu výživy byla zvolena hnojiva minerálního charakteru dle stanovené metodiky. Tato varianta byla označena jako "intenzivní". 22. 4. 2014 proběhlo první hnojení této varianty síranem amonným v dávce  $300 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , ledkem amonným v dávce  $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , superfosfátem trojitým a draselnou solí v dávkách  $62,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (Tab. 3).



Druhá varianta spočívala v přihnojování digestátem a byla proto označena jako "digestát". Toto organické hnojivo je vedlejším produktem bioplynové stanice Žabovřesky, do které se právě tyto rostliny pěstují jako vstupní produkt. Dávka byla zvolena tak, aby bylo na porost aplikováno stejné množství čistého dusíku jako ve variantě "intenzivní". K první aplikaci došlo 25. 4. 2014 v dávce 280 hl · ha<sup>-1</sup> digestátu společně se stejným množstvím vody, kterou byl digestát naředěn (Tab. 3).

U posledního způsobu pěstování Szarvasi-1 nebylo použito žádných hnojiv a nese proto název "extenzivní" (Tab. 3).

Rostliny *Miscanthus* × *giganteus* byly oproti porostu Szarvasi-1 obhospodařovány pouze jedním způsobem. U tohoto způsobu byla zvolena minerální hnojiva a varianta byla proto obdobně jako u porostu Szarvasi-1 označena jako "intenzivní". 22. 4. 2014 proběhlo první hnojení této varianty ledkem amonným v dávce 260 kg · ha<sup>-1</sup>, superfosfátem trojitým v dávce 250 kg · ha<sup>-1</sup> a draselnou solí v dávce 145 kg · ha<sup>-1</sup> (Tab. 3). V dalších letech byl porost hnojen vždy stejnou dávkou hnojiv ihned po sklizni plodiny.

**Tab. 3: Typ hnojiva, jeho aplikované množství a dávka čistého prvku.**

Rostlina	Varianta	Dusík (N)		Fosfor (P)		Draslík (K)	
		Hnojivo (množství v kg·ha <sup>-1</sup> )	Dávka čistého prvku v kg·ha <sup>-1</sup>	Hnojivo (množství v kg·ha <sup>-1</sup> )	Dávka čistého prvku v kg·ha <sup>-1</sup>	Hnojivo (množství v kg·ha <sup>-1</sup> )	Dávka čistého prvku v kg·ha <sup>-1</sup>
<i>Elymus elongatus</i> cv. Szarvasi-1	"intenzivní"	SA 300 LAD 150	100	SF3 62,5	10	DS 62,5	30
	"extenzivní"	X	X	X	X	X	X
	"digestát"	digestát 28 000	100	digestát 28 000	25	digestát 28 000	168
<i>Miscanthus</i> × <i>giganteus</i>	"intenzivní"	LAD 260	70	SF3 250	40	DS 145	70

## 4.4 Metodika odběru vzorků pro stanovení výnosu

Odběr vzorků probíhal vždy brzy na jaře před provedením seče. Vzorek dané trávy byl odebrán z plochy 1 m<sup>2</sup> z každé parcely, zjištěné výnosy z políček stejných variant se poté zprůměrovaly. Odběr byl proveden ručně za pomoci srpu ve výšce zhruba 5 cm nad zemí. Čerstvá hmota byla zvážena a poté vložena do sušárny, kde

došlo k jejímu vysušení. Ze zjištěných výsledků se poté vypočetl podíl vody a sušiny v travní hmotě a výnosy sušiny byly přepočteny na plochu 1 hektaru.

Na pokusných políčkách rostlin Szarvasi-1 došlo k prvnímu odběru vzorků a následné seči 1. 4. 2014, podruhé byly vzorky porostů odebrány 17. 3. 2015, třetí vzorky byly odebrány 21. 3. 2016. Poslední dva vzorky byly odebrány 8. 3. 2017 a 13. 3. 2018.

Na pokusné parcelce *Miscanthus* × *giganteus* došlo k prvnímu odběru vzorků a následné seči 8. 4. 2014, podruhé byly vzorky porostů odebrány 18. 3. 2015, třetí vzorky byly odebrány 21. 3. 2016. Poslední dva vzorky byly odebrány 8. 3. 2017 a 13. 3. 2018.

Práce tedy obsahuje výsledky výnosů trav Szarvasi-1 a *Miscanthus* × *giganteus* z posledních pěti let. Výsledky z let 2014, 2015 a 2016 byly získány z interních dokumentů od vedoucího práce pana Ing. Marka Kopeckého. V posledních dvou letech, tedy v roce 2017 a 2018, jsem se na odběru vzorků, sušení čerstvé travní hmoty a výpočtech podílel osobně.

## 5. Výsledky a diskuze

Na maloparcelkových pokusech v Českých Budějovicích byly v roce 2013 založeny porosty *Miscanthus* × *giganteus* a Szarvasi-1. Tato práce níže hodnotí výsledky výnosových parametrů těchto dvou rostlin v letech 2014 - 2018. Veškerá rostlinná hmota byla sklížena z maloplošných parcelek dle dohodnutého plánu. Biomasa byla odebírána pokaždé z parcelek založených na jaře, určených ke sklizni pro přímé spalování a výnosy ze vzorků byly přepočítány a jsou uváděny v  $t \cdot ha^{-1}$ . Hodnocenými parametry jsou průměrné výnosy sušiny a čerstvé hmoty v tunách z hektaru a průměrný obsah sušiny v procentech.

### 5.1 První sada vzorků, rok 2014

Průměrný výnos Szarvasi-1 ze vzorků odebraných 1. 4. 2014, tedy ve druhém roce vegetace, činil u varianty "extenzivní"  $9,6 t \cdot ha^{-1}$  čerstvé hmoty o průměrné sušině 36 %. Výnos sušiny tvořil  $3,41 t \cdot ha^{-1}$ . Varianta "intenzivní" vykazovala výnosy čerstvé hmoty o průměrné hodnotě  $11,66 t \cdot ha^{-1}$  a obsahu sušiny 30 %, což odpovídá  $3,46 t \cdot ha^{-1}$  sušiny. Na parcelkách označených jako "digestát" bylo vyprodukováno v průměru  $11,72 t \cdot ha^{-1}$  čerstvé hmoty s obsahem 29 % sušiny. Sušina tedy tvořila výnos  $3,36 t \cdot ha^{-1}$ . V prvním užitkovém roce se, co se týče výnosu sušiny, překvapivě neprojevil téměř žádný rozdíl v intenzitě a způsobu hnojení. Na výnos čerstvé hmoty však už rozdílné varianty hnojení vliv měly. Varianty "intenzivní" a "digestát" vykazovaly podobné výnosy přesahující  $11,5 t \cdot ha^{-1}$ . Ve variantě "extenzivní" byl deficit hnojiv znatelný a projevil se nižším výnosem čerstvé hmoty zhruba o  $2 t \cdot ha^{-1}$ . Výnos sušiny, který se u všech variant pěstování pohyboval kolem hodnoty  $3,5 t \cdot ha^{-1}$  se nejevil jako příliš uspokojivý. Obsah sušiny nedosahující hodnot ani 40 % byl pro přímé spalování také velmi nízký.

Schrabauer J. (2010) tvrdí, že Szarvasi-1 přináší plný výnos již v druhém roce od založení, toto tvrzení však vzhledem k uvedeným výsledkům nemůžeme potvrdit.

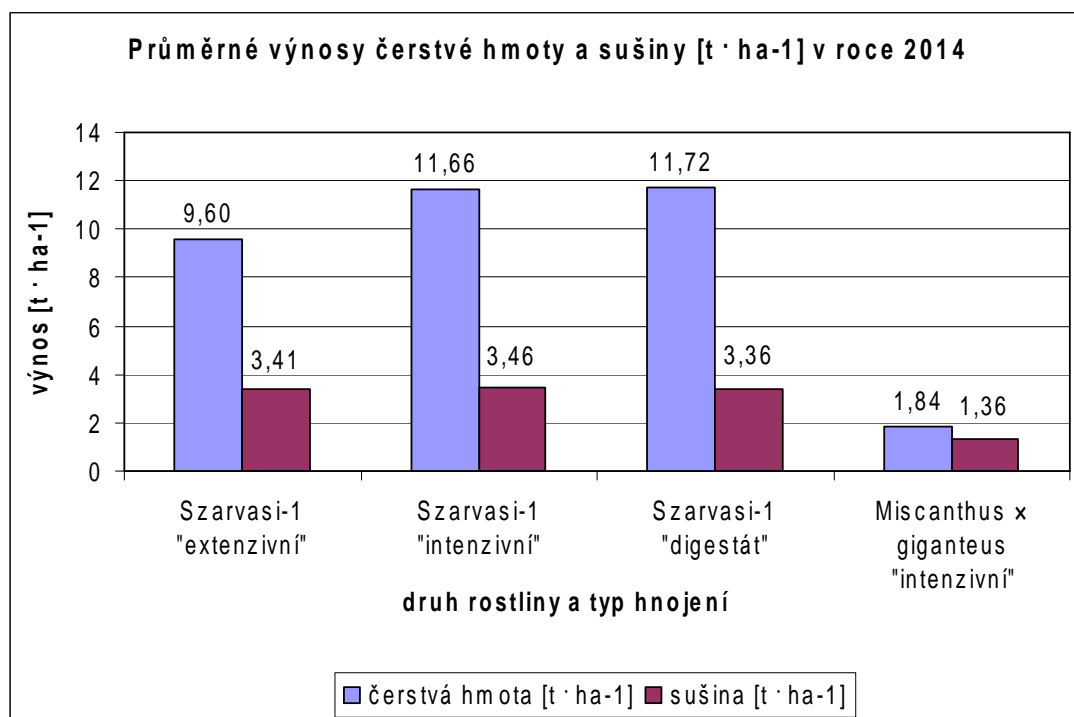
První hodnocené vzorky *Miscanthus* × *giganteus* byly odebrány ve druhém roce vegetace, a to 8. 4. 2014, tedy asi týden po vzorkách odebíraných u Szarvasi-1. *Miscanthus* × *giganteus* je hodnocen pouze v jedné variantě pěstování označené jako

"intenzivní". V této variantě byl schopen vyprodukovat  $1,84 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  čerstvé hmoty o průměrném obsahu sušiny 74 %, což odpovídá  $1,36 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny. První užitkový rok *Miscanthus* × *giganteus* poskytl jen velmi malý výnos ať už se jednalo o sušinu či čerstvou hmotu, tak hodnota jejich výnosu nepřesáhla  $2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Takto nízký výnos byl zřejmě zapříčiněn ještě dostatečně nerozrostlým porostem. Obsah sušiny byl však mnohem lepší pro využití na přímé spalování než Szarvasi-1. Jeho hodnota se velmi blížila k minimální hranici 80 %, kterou by travní hmota energetických rostlin určených pro přímé spalování měla obsahovat.

Stražil Z. a Moudrý J. jr. (2011) uvádějí, na základě pokusu z Lukavce u Pacova, velmi podobné výsledky z druhého roku pěstování *Miscanthus* × *giganteus*. Průměrný výnos sušiny činil také pouze  $1,58 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  což odpovídalo 89 % průměrného obsahu sušiny.

Porovnání výnosů čerstvé hmoty a sušiny je znázorněno níže v grafu 7. Ve druhém roce vegetace byl u nejsledovanějšího parametru pozorování, tedy u průměrného výnosu sušiny, zaznamenán u porostu Szarvasi-1 vyšší výnos sušiny o  $2,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  než u porostu *Miscanthus* × *giganteus*.

**Graf 7: Průměrné výnosy čerstvé hmoty a sušiny v roce 2014 v  $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .**



## 5.2 Druhá sada vzorků, rok 2015

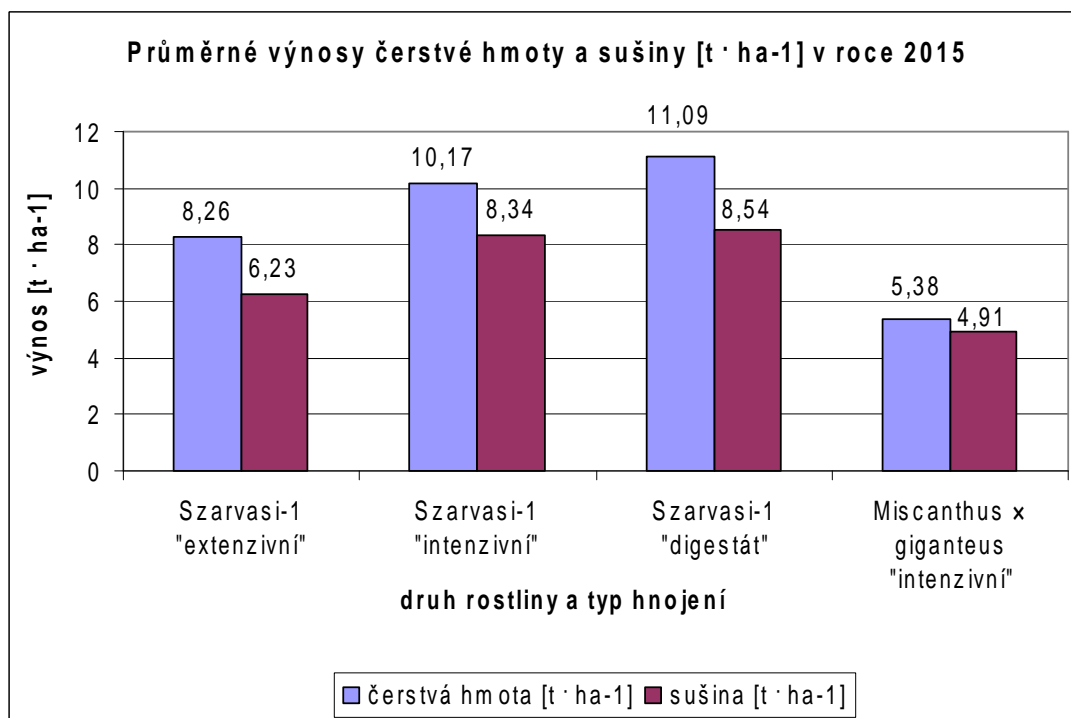
Druhá sada vzorků porostu Szarvasi-1 se odebírala ve třetím roce vegetace, a to 17. 3. 2015. V tomto roce činily výnosy u varianty "extenzivní"  $8,26 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  čerstvé hmoty o průměrné sušině 76 %. Výnos sušiny tvořil  $6,23 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Ve variantě "intenzivní" se podařilo vyprodukovat výnosy čerstvé hmoty o průměrné hodnotě  $10,17 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  a obsahu sušiny 82 %, což odpovídá  $8,34 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny. Na parcelkách označených jako "digestát" činily výnosové parametry v průměru  $11,09 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  čerstvé hmoty s obsahem 77 % sušiny. Sušina tedy tvořila výnos  $8,54 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Druhé hodnocené vzorky *Miscanthus* × *giganteus* byly odebrány ve třetím roce vegetace, přesně 18. 3. 2015, tedy den po vzorkách odebíraných u Szarvasi-1. *Miscanthus* × *giganteus* je hodnocen pouze v jedné variantě pěstování označené jako "intenzivní", kde se v tomto roce podařilo vyprodukovat výnos  $5,38 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  čerstvé hmoty o průměrném obsahu sušiny 91 %, což odpovídá  $4,91 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny.

Podle Clifton-Browna J. C. et al. (2001) výnosy *Miscanthus* × *giganteus* pěstovaného v různých místech Evropy kolísaly při závlaze ve třetím roce pěstování mezi  $7 - 26 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny. Nejvyšší výnosy nezavlažovaných rostlin byly  $15 - 19 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny. Stražil Z. et al. (2015) dodává, že v severní Evropě je horní hranice výnosů mezi  $15 - 25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny na konci období růstu. Vyšší výnosy jsou zaznamenávány ve střední a jižní Evropě, kde hranice kolísá mezi  $25 - 40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny za rok. Weger J. et al. (2012) uvádí ve třetím roce po výsadbě průměrný obsah sušiny 78 %.

Porovnání výnosu čerstvé hmoty a sušiny je znázorněno níže v grafu 8. Ve třetím roce vegetace byl u nejsledovanějšího parametru pozorování, tedy u průměrného výnosu sušiny, zaznamenán u porostu Szarvasi-1 vyšší výnos sušiny o  $3,43 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  než u porostu *Miscanthus* × *giganteus*.

**Graf 8: Průměrné výnosy čerstvé hmoty a sušiny v roce 2015 v  $t \cdot ha^{-1}$ .**



## 5.3 Třetí sada vzorků, rok 2016

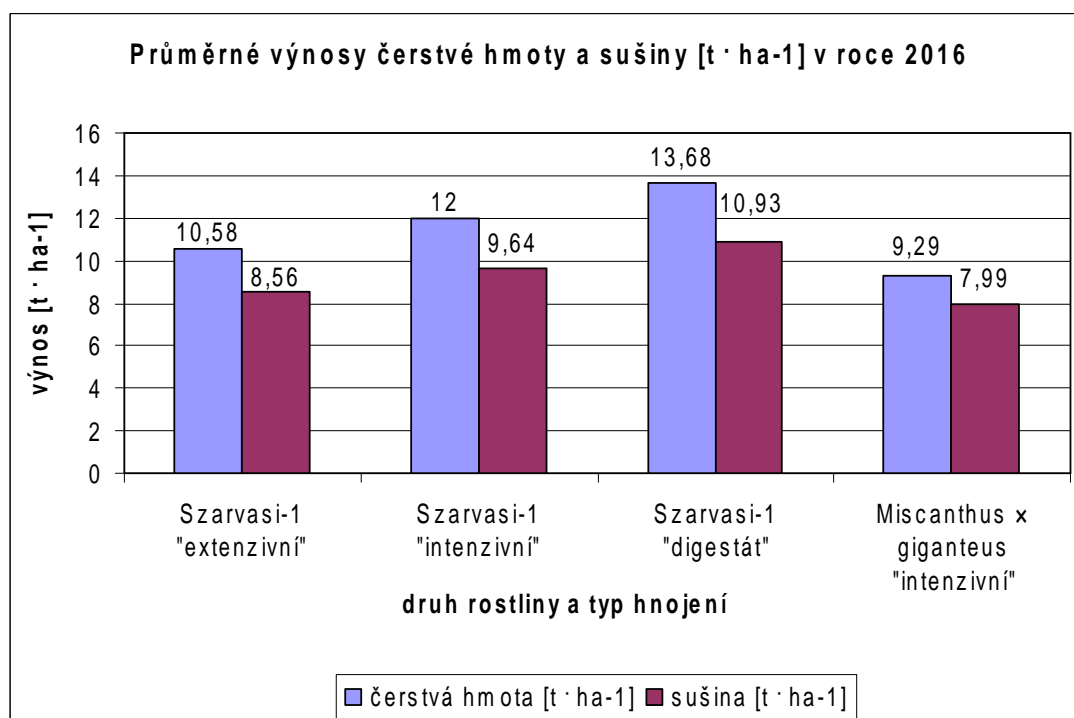
Vzorky porostu Szarvasi-1 odebírané 21. 3. 2016, tedy ve čtvrtém roce vegetace, poskytovaly ve variantě "extenzivní" výnos  $10,58 t \cdot ha^{-1}$  čerstvé hmoty o průměrné sušině 81 %. Výnos sušiny tvořil  $8,56 t \cdot ha^{-1}$ . Ve variantě "intenzivní" činil výnos čerstvé hmoty  $12 t \cdot ha^{-1}$  o průměrném obsahu sušiny 80 %, což odpovídá  $9,64 t \cdot ha^{-1}$  sušiny. Na parcelkách označených jako "digestát" se podařilo vyprodukovat  $13,68 t \cdot ha^{-1}$  čerstvé hmoty s obsahem 80 % sušiny. Sušina tedy tvořila výnos  $10,93 t \cdot ha^{-1}$ .

V pořadí třetí vzorky *Miscanthus x giganteus* byly odebrány ve čtvrtém roce vegetace, a to 21. 3. 2016, tedy v ten samý den jako vzorky Szarvasi-1. Jak již bylo uvedeno výše, je *Miscanthus x giganteus* hodnocen pouze ve variantě pěstování označené jako "intenzivní". Tato varianta poskytla ve čtvrtém roce vegetace výnos  $9,29 t \cdot ha^{-1}$  čerstvé hmoty o průměrném obsahu sušiny 86 %, což odpovídá  $7,99 t \cdot ha^{-1}$  sušiny.

Strašil Z. a Moudrý J. jr. (2011) uvádějí ve čtvrtém roce pěstování *Miscanthus × giganteus* výrazně vyšší výnos. Ten podle jejich výsledků činil 13,68 t · ha<sup>-1</sup> sušiny, jejíž průměrný obsah v čerstvé hmotě byl 79 %.

Porovnání výnosu čerstvé hmoty a sušiny je znázorněno níže v grafu 9. Ve čtvrtém roce vegetace byl u nejsledovanějšího parametru pozorování, tedy u průměrného výnosu sušiny, zaznamenán u porostu Szarvasi-1 vyšší výnos sušiny o 1,65 t · ha<sup>-1</sup> než u porostu *Miscanthus × giganteus*.

**Graf 9: Průměrné výnosy čerstvé hmoty a sušiny v roce 2016 v t · ha<sup>-1</sup>.**



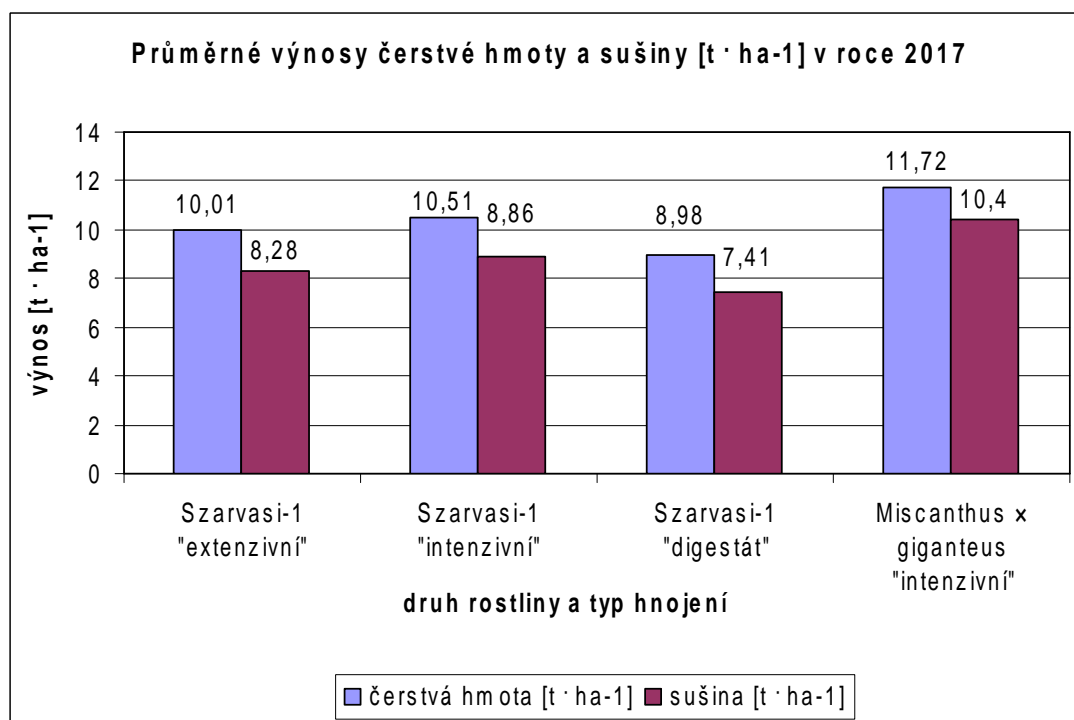
## 5.4 Čtvrtá sada vzorků, rok 2017

Další, v pořadí čtvrté vzorky porostu Szarvasi-1, byly odebírané 8. 3. 2017. V pátém roce vegetace se ve variantě "extenzivní" podařilo vyprodukovat výnos 10,01 t · ha<sup>-1</sup> čerstvé hmoty o průměrném obsahu sušiny 83 %. Výnos sušiny tvořil 8,28 t · ha<sup>-1</sup>. Varianta označená jako "intenzivní" disponovala výnosem 10,51 t · ha<sup>-1</sup> čerstvé hmoty s průměrným obsahem sušiny 85 %, což odpovídá 8,86 t · ha<sup>-1</sup> sušiny. Ve variantě "digestát" byly v tomto roce zaznamenány výnosy 8,98 t · ha<sup>-1</sup> čerstvé hmoty s obsahem 82 % sušiny. Výnos sušiny tvořil tedy 7,41 t · ha<sup>-1</sup>.

Čtvrtá sada vzorků *Miscanthus × giganteus* z pátého roku vegetace této kultury se odebrala 8. 3. 2017, ve stejný den jako u porostu Szarvasi-1. V jediné hodnocené variantě označené jako "intenzivní" se podařilo v tomto roce dosáhnout výnosu  $11,72 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  čerstvé hmoty o průměrném obsahu sušiny 89 %, což odpovídá hodnotě  $10,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny této traviny.

Porovnání výnosu čerstvé hmoty a sušiny je znázorněno níže v grafu 10. V pátém roce vegetace byl u nejsledovanějšího parametru pozorování, tedy u průměrného výnosu sušiny, zaznamenán u porostu *Miscanthus × giganteus* vyšší výnos sušiny o  $1,54 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  než u porostu Szarvasi-1.

**Graf 10: Průměrné výnosy čerstvé hmoty a sušiny v roce 2017 v  $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .**



## 5.5 Pátá sada vzorků, rok 2018

Páté a zároveň také poslední vyhodnocované vzorky Szarvasi-1 odebrané 13. 3. 2018 v šestém vegetačním roce této energetické plodiny činily u varianty "extenzivní"  $7,02 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  čerstvé hmoty o průměrné sušině 80 %. Výnos sušiny tvořil  $5,63 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Varianta "intenzivní" vykazovala v tomto roce výnosy čerstvé hmoty o průměrné hodnotě  $8,16 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  a obsahu sušiny 76 %, což odpovídá  $6,18 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$

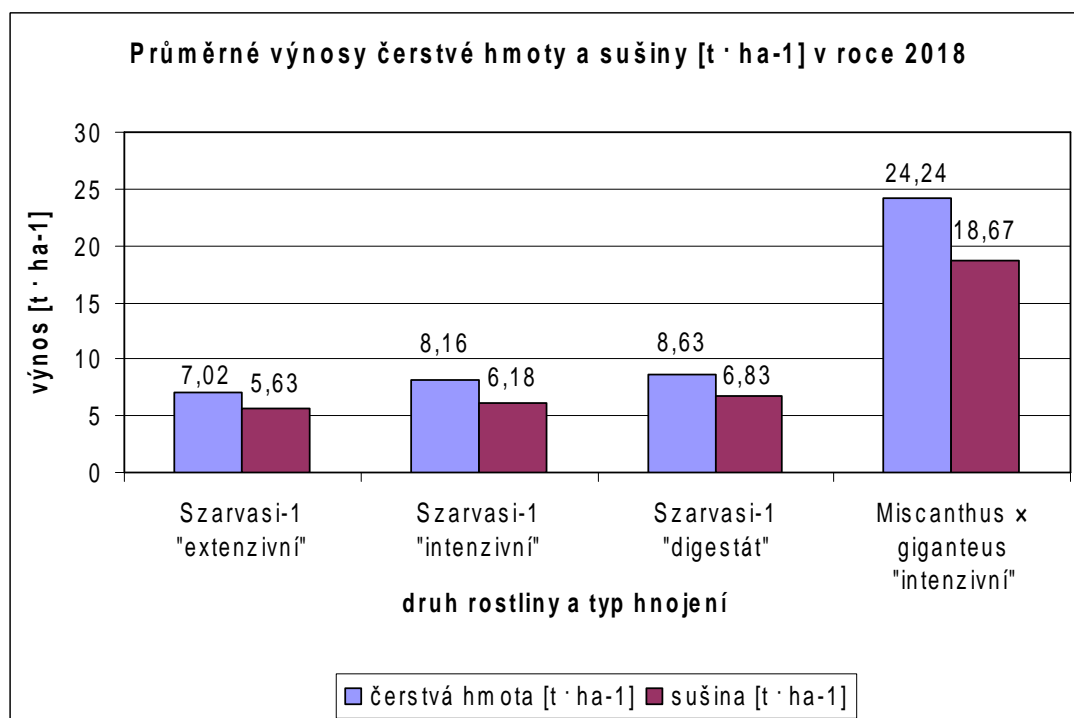


sušiny. Na pokusných parcelkách, které nesly označení "digestát" bylo vyprodukováno v průměru  $8,63 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  čerstvé hmoty s obsahem 79 % sušiny. Sušina tedy tvořila výnos  $6,83 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Také u porostu *Miscanthus* × *giganteus* byly 13. 3. 2018 v šestém roce vegetace odebrány páté a zároveň poslední vzorky výnosových potenciálů hodnocených v této práci. Ve variantě "intenzivní" jakožto jediné variantě pěstování *Miscanthus* × *giganteus* vyprodukoval  $24,24 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  čerstvé hmoty o průměrném obsahu sušiny 77 %, což odpovídá  $18,67 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny.

Porovnání výnosu čerstvé hmoty a sušiny je znázorněno níže v grafu 11. V šestém roce vegetace byl u nejsledovanějšího parametru pozorování, tedy u průměrného výnosu sušiny, zaznamenán u porostu *Miscanthus* × *giganteus* vyšší výnos sušiny o  $12,49 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  než u porostu Szarvasi-1.

**Graf 11: Průměrné výnosy čerstvé hmoty a sušiny v roce 2018 v  $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .**



## 5.6 Celkové výsledky z let 2014 - 2018

Po šestiletém vegetačním období odrůdy Szarvasi-1 byla vyhodnocena data výnosových parametrů z let kdy probíhala sklizeň, tedy z let 2014 - 2018. Data byla

následně zprůměrnována a jsou obsažena v grafu 12 a grafu 15, z nichž vyplývá, že v "extenzivní" formě hospodaření činil výnos čerstvé hmoty  $9,09 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  o průměrné sušině 71 %. Výnos sušiny tvořil  $6,42 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Varianta "intenzivní" vykazovala v souhrnu těchto let průměrný výnos čerstvé hmoty  $10,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  o obsahu sušiny 71 %, což odpovídá  $7,30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny. Na pokusných parcelkách, které nesly označení "digestát" bylo vyprodukováno v průměru  $10,82 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  čerstvé hmoty s obsahem 69 % sušiny. Sušina tedy tvořila výnos  $7,41 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Dle Cseteho S. et al. (2011) se výnos biomasy energetické trávy Szarvasi-1 v podmínkách intenzivního zemědělství průměrně pohybuje okolo  $10 - 15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny a je především závislý na přítomnosti makronutrientů, struktuře půdy a dostupnosti vody, ale také na počasí a podmínkách prostředí.

Ve stejném časovém období a identické vegetační době jako Szarvasi-1 vykazoval porost *Miscanthus* × *giganteus* v jediné hodnocené variantě označené jako "intenzivní" výnos  $10,49 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  čerstvé hmoty o průměrném obsahu sušiny 83 %, což odpovídá hodnotě  $8,67 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny této energetické traviny.

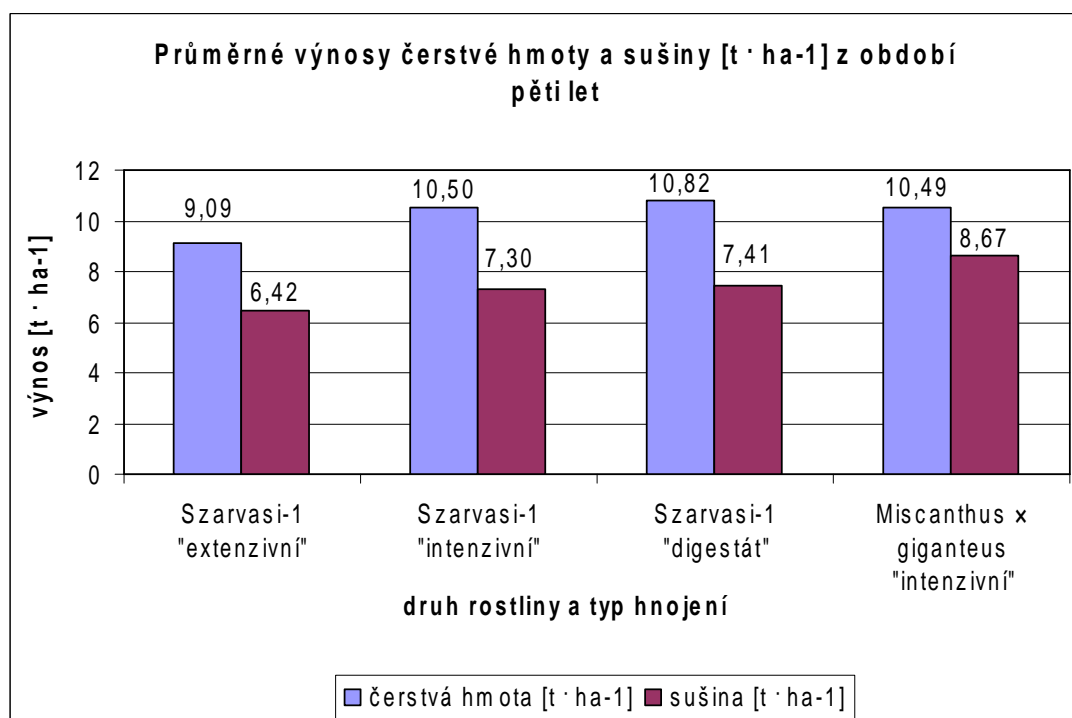
Tyto výsledky potvrzují i Strašil Z. a Moudrý J. jr. (2011), kteří na stanovišti v Lukavci u Pacova dosáhli u čtyřletého porostu *Miscanthus* × *giganteus* v průběhu tří let průměrného obsahu sušiny  $8,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , jejíž obsah v čerstvé hmotě byl 86 %. Strašil Z. et al. (2015) však uvádí vyšší výsledky výnosů *Miscanthus* × *giganteus* na stanovišti v Praze - Ruzyni, kde byl výnos z let 1996 - 2001 v průměru  $15,25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  čerstvé hmoty o obsahu sušiny 76 %, což odpovídá  $11,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny. S tím se shoduje i Kára J. et al. (2005), který uvádí průměrné výnosové parametry z let 1996 - 2001 v hodnotách  $15,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  čerstvé hmoty s obsahem sušiny 86 %. Výnos sušiny byl tedy  $11,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Lze konstatovat, že na základě grafu 12 nebylo dosaženo obecně udávané hranice ekonomické rentability  $12 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny, kterou uvádějí Bernas J. (2010) a rovněž tak Kopecký M. (2010). Jedinou výjimku tvořil *Miscanthus* × *giganteus* v šestém roce vegetace, kdy činil výnos sušiny  $18,67 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  (Graf 13). Ekonomika pěstování je z pohledu potenciálních pěstitelů klíčovou otázkou a v konečné fázi ovlivňuje jejich rozhodnutí o tom, zda budou rostliny za určitým účelem pěstovat či nikoliv (Strašil Z. et al., 2011). Strašil Z. (2009) uvádí *Miscanthus* × *giganteus* jako druh energetické traviny, který je plně využitelný jako palivo v energetickém průmyslu a který bude ekonomicky rentabilní (bez dotací) pokud budou výnosy sušiny vyšší než  $18 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Při nižších výnosech kolem  $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  bude ekonomicky

rentabilní, pokud bude výroba dotována jako výroba obnovitelného zdroje paliva majícího při spalování pozitivní vliv na životní prostředí.

Porovnání výnosu čerstvé hmoty a sušiny je znázorněno níže v grafu 12. Po šestiletém období vegetace a pěti letech sbírání a vyhodnocování vzorků byl u nejsledovanějšího parametru pozorování, tedy u průměrného výnosu sušiny, zaznamenán u porostu *Miscanthus* × *giganteus* vyšší roční výnos sušiny o 1,37 t · ha<sup>-1</sup> za rok než u porostu Szarvasi-1.

**Graf 12: Průměrné výnosy čerstvé hmoty a sušiny z let 2014 - 2018 v t · ha<sup>-1</sup>.**



Porovnání výnosových parametrů druhů *Miscanthus* × *giganteus* a Szarvasi-1 z "intenzivních" variant pěstování v časovém horizontu pěti let znázorňuje níže umístěný graf 13. Z tohoto grafu lze vyčíst, že u porostu Szarvasi-1 bylo poměrně dobrých výnosů dosaženo ve třetím, čtvrtém a pátém roce vegetace, kdy se výnos sušiny pohyboval okolo 9 t · ha<sup>-1</sup>. Oproti tomu v prvních dvou letech byly výnosy sušiny velmi malé. První rok byly zanedbatelné a práce tyto výsledky proto ani neuvádí. Ve druhém roce činil výnos sušiny jen 3,46 t · ha<sup>-1</sup>. V tomto se neshodují s Schrabauerem J. (2010), který tvrdí, že Szarvasi-1 přináší plný výnos již v druhém roce od založení. V šestém roce vegetace, začal porost Szarvasi-1 viditelně řídnout, což se

potvrdilo i na poslední sadě vzorků, jejichž výsledkem byl nižší výnos sušiny o hodnotě pouze  $6,18 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

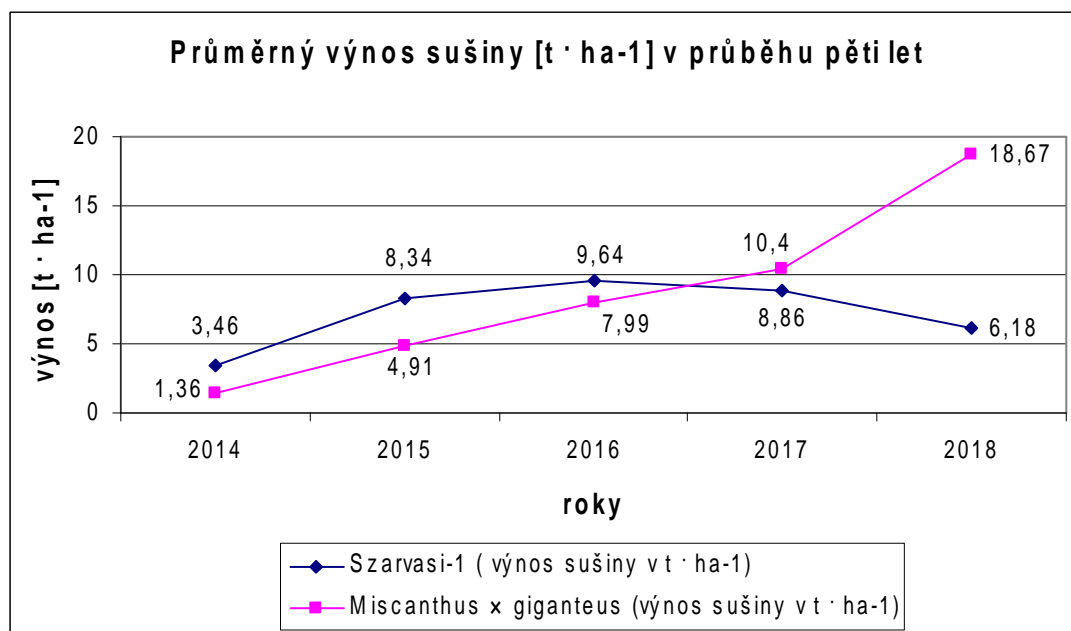
Dle Cseteho S. et al. (2011) a jeho výsledku experimentu z oblasti Jižního Transdanubia (Maďarsko), který trval tři roky (2004 - 2007), velmi záleží na množství srážek a výšce podzemní vody. Výnosy sušiny porostu Szarvasi-1 se dle jeho výzkumu pohybovaly od  $6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  v letech s nižšími počty dešťových srážek až po  $12 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  v letech s vyšším počtem srážkových úhrnů.

Druh *Miscanthus* × *giganteus* rovněž vykazoval v prvních dvou letech vegetace malé výnosy sušiny. První rok byl, stejně jako u Szarvasi-1, zanedbatelný a práce výsledky z tohoto roku proto také neobsahuje. Ve druhém roce vegetace dosahoval výnos sušiny hodnoty pouze  $1,36 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Ani ve třetím roce nebyl výnos sušiny velký, činil jen  $4,91 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Teprve až ve čtvrtém a pátém vegetačním roce začaly být výnosy sušiny uspokojivé. Jejich hodnota se pohybovala okolo  $9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . V šestém roce vegetace porost *Miscanthus* × *giganteus* výrazně zhoustl a také výnos sušiny byl výrazně vyšší, a to  $18,67 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Strašil Z. et al. (2015) ale konstatuje zcela jiné poznatky, a to sice že výnosy fytomasy *Miscanthus* × *giganteus* rostou od roku výsadby až do třetího resp. čtvrtého roku, kdy se výnosy ustálí a podle půdně-klimatických podmínek dosahují v dalších letech podobných hodnot.

Dle Strašila Z. et al. (2011) je u energetických trav jako je Szarvasi-1 a *Miscanthus* × *giganteus* dosahováno uspokojivých výsledků až třetí rok od založení. Toto stanovisko můžeme na základě našeho výzkumu potvrdit u porostu Szarvasi-1, kde bylo dosaženo poměrně dobrých výnosů ve třetím, čtvrtém a pátém roce vegetace. V šestém roce pěstování bylo však zaznamenáno znatelné snížení výnosu. Co se týče výnosů porostu *Miscanthus* × *giganteus*, ty tvrzení Strašila Z. et al. (2011) nepotvrzují. Z našich výsledků vyplývá, že výnosy z tohoto druhu energetické trávy začaly být uspokojivé až čtvrtý respektive pátý a šestý rok vegetace, ve kterém došlo k výraznému nárůstu výnosu.

**Graf 13: Průměrné výnosy sušiny Szarvasi-1 a *Miscanthus* × *giganteus* v průběhu let 2014 - 2018 v t · ha<sup>-1</sup>.**

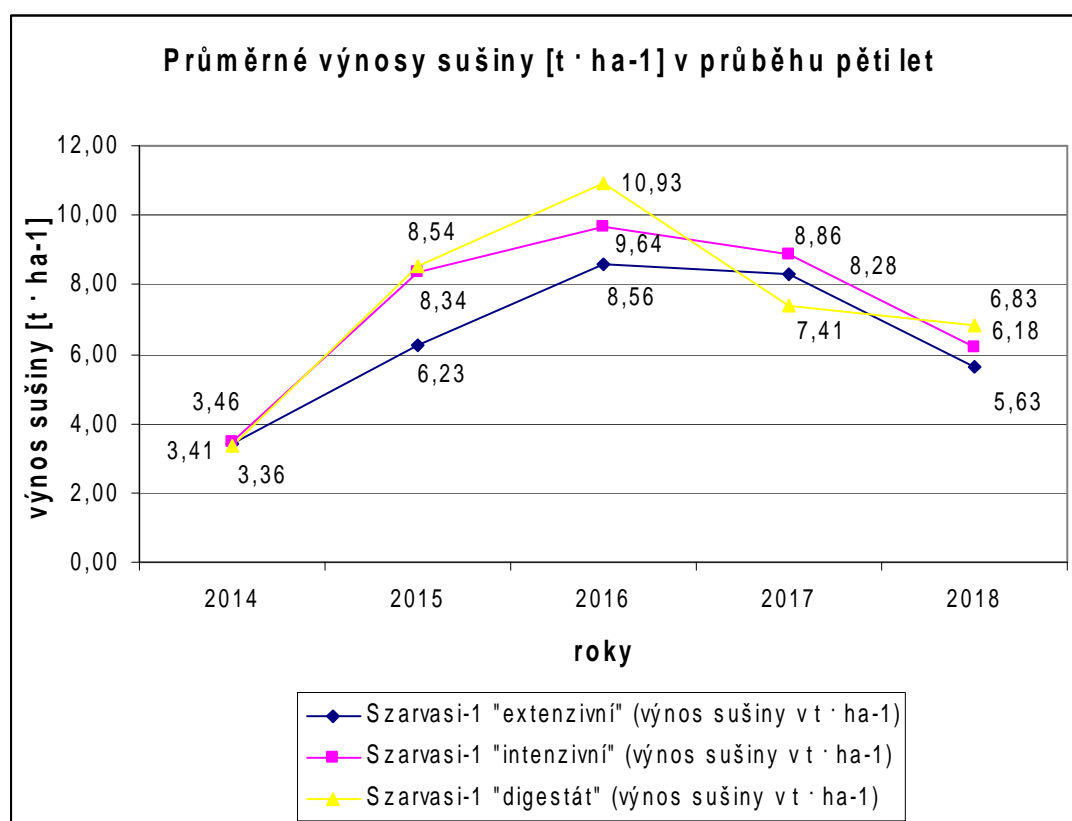


Porovnání výnosových parametrů porostu Szarvasi-1 dle variant pěstování v průběhu let 2014 - 2018 řeší graf 14. Z něho lze vyčíst, že rozdíly ve variantách pěstování se objevily až ve třetím roce vegetace, kdy se u "extenzivní" varianty projevil deficit hnojiv a vůči variantám hnojenými minerálními a organickými hnojivy vykazovala tato varianta nižší výnos sušiny o více jak 2 t · ha<sup>-1</sup>. Ve variantách "intenzivní" a "digestát" se v tomto roce žádný výrazný rozdíl ve výnosech neprojevil. Ve čtvrtém vegetačním období Szarvasi-1 činily nejvyšší výnosy sušiny hodnot 10,93 t · ha<sup>-1</sup> ve variantě "digestát", 9,64 t · ha<sup>-1</sup> v "intenzivní" variantě pěstování a nejnižší výnos 8,56 t · ha<sup>-1</sup> ve variantě "extenzivní". V pátém roce vegetace začal porost Szarvasi-1 překvapivě řídnout, což potvrdily nižší výnosy ve všech variantách pěstování (Graf 14). Překvapivě bylo také nejnižších výnosů dosaženo u varianty "digestát", oproti tomu "extenzivní" varianta vykazovala srovnatelné výsledky s variantou "intenzivní". Další vegetační rok opět přinesl nečekané snížení výnosů. Šestáým rokem vegetace byl už porost Szarvasi-1 schopen poskytnout výnos sušiny pouze okolo 6 t · ha<sup>-1</sup>. Rozdíly ve variantách pěstování se v tomto roce nějak výrazně neprojevil.

Bikazugi mezőgazdasági nonprofit KFT (2004) uvádí, že odrůda Szarvasi-1 je schopná produkovat 10 - 15 tun sušiny ročně pouze s dodáním 68 až 85 kg N na hektar a na seč, což se v našem případě potvrdilo pouze ve čtvrtém roce pěstování,

kdy se hodnoty sušiny hnojených variant pohybovaly okolo  $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Odlišné výnosy u odrůdy Szarvasi-1 mohou být způsobeny různými faktory (odlišné stanovištní podmínky, různá intenzita hnojení, vliv ročníku, nestejně technologie pěstování) (Csete S. et al., 2011). Způsob a intenzita hnojení závisí dle Cseteho S. et al. (2011) především na typu půdy.

**Graf 14: Průměrné výnosy sušiny Szarvasi-1 v průběhu let 2014 - 2018 dle variant pěstování v  $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .**

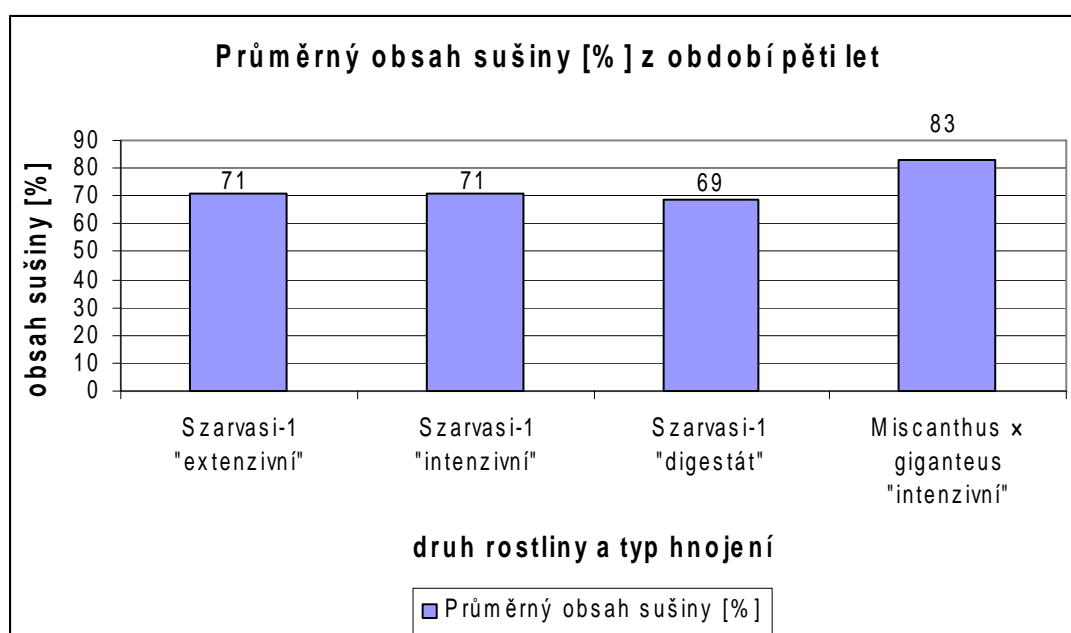


Průměrné obsahy sušiny v % z let 2014 - 2018 v závislosti na druhu rostliny a typu hnojení jsou znázorněny níže v grafu 15. Z něho lze vyčíst, že ve třech variantách pěstování Szarvasi-1 nebyl žádný rozdíl v obsahu sušiny, tedy typ hnojiv ani jejich intenzita nemá na tento ukazatel vliv. Všechny tři varianty porostu Szarvasi-1 vykazovaly průměrný obsah sušiny okolo 70 %, tedy k přímému spalování by porost úplně vhodný nebyl a nejspíš by se musel dosušet. Tato hodnota je ovšem zkreslena jejím vypočteným průměrem z období pěti let. Graf 16 nám ukazuje průměrné hodnoty sušiny v jednotlivých letech, z kterých lze konstatovat, že porost Szarvasi-1 je při brzké jarní sklizni vhodný k přímému

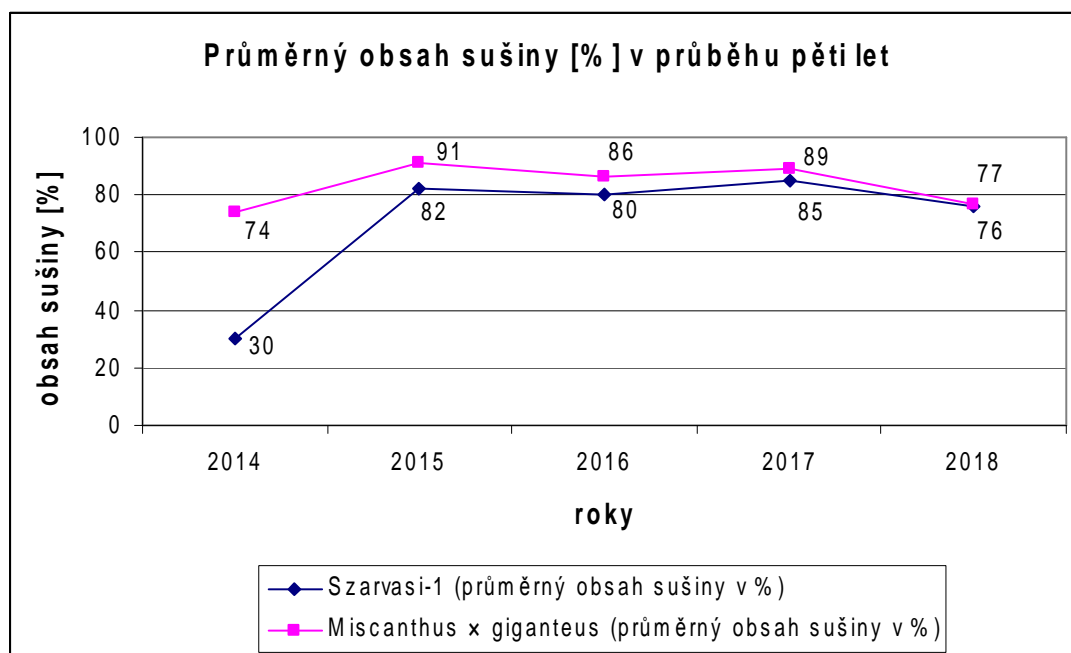
spalování, ale až od třetího roku vegetace, tedy až ve druhém roce sklizně, kdy průměrný obsah sušiny přesahuje hodnotu 80 %. *Miscanthus × giganteus* vykazuje dle grafu 15 průměrný obsah sušiny z období pěti let 83 %, což je hodnota vhodná pro přímé spalování. Navíc z grafu 16 vyplývá, že porost *Miscanthus × giganteus* je při brzké jarní sklizni vhodný pro přímé spalování prakticky už od druhého vegetačního roku, tedy hned v prvním roce sklizně.

Dle Wegera J. et al. (2012) má sklizená travní hmota energetických rostlin podle zahraničních údajů obsah sušiny kolem 62 - 78 %.

**Graf 15: Průměrný obsah sušiny z let 2014 - 2018 v %.**



**Graf 16: Průměrný obsah sušiny v průběhu let 2014 - 2018 v %.**





## 6. Závěr

Na maloparcelkových pokusech v Českých Budějovicích byly po šestiletém vegetačním období a pěti letech užítkovosti vyhodnoceny výnosové parametry energetických trav *Elymus elongatus* subsp. *Ponticus* cv. Szarvasi-1 a *Miscanthus* × *giganteus* založených na jaře 2013 pro účely přímého spalování.

Kultivar Szarvasi-1 byl pěstován ve třech variantách, a to "extenzivní", "intenzivní" a "digestát". V "extenzivní" variantě nebyly na porost aplikována v průběhu pěti let žádná hnojiva. Ve variantě "intenzivní" bylo využito minerálních hnojiv a na parcelky označené jako "digestát" bylo aplikováno organické hnojivo. Hybrid *Miscanthus* × *giganteus* byl pěstován pouze v "intenzivní" variantě, tedy s využitím minerálních hnojiv.

Průměrné výsledky výnosových parametrů jarních sečí z let 2014 – 2018 vyšly lépe ve prospěch porostu *Miscanthus* × *giganteus*, který vykazoval průměrný výnos sušiny o hodnotě  $8,67 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , tedy o  $1,37 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  za rok vyšší než porost Szarvasi-1. Tím se potvrdila první hypotéza, že tráva *Miscanthus* × *giganteus*, jako rostlina typu C4, dosáhne v průměru vyšších výnosů v porovnání s druhem *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1.

Parametr průměrného obsahu sušiny vyšel rovněž lépe u porostu *Miscanthus* × *giganteus*, kde dosahoval hodnoty 83 %. Oproti tomu se průměrný obsah sušiny v čerstvě sklizené hmotě ve všech formách pěstování Szarvasi-1 pohyboval těsně kolem 70 %. To bylo ovšem způsobeno vysokým procentem vlhkosti v prvním roce sklizně. Následující roky už vykazovaly průměrné obsahy sušiny přesahující hodnotu 80 %, tedy hranici kdy je travní hmota vhodná pro přímé spalování a nemusí se dosoušet.

Výnosové parametry z období pěti let však u obou druhů rostlin a ve všech variantách pěstování dosahovaly v průměru velmi nízkých hodnot. *Miscanthus* × *giganteus* byl schopen vyprodukovat za šestileté vegetační období v průměru pouze  $8,67 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny za rok. U odrůdy Szarvasi-1 činil průměrný výnos sušiny v "extenzivní" formě hospodaření  $6,42 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , v "intenzivní" formě to bylo  $7,3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny a varianta "digestát" vykazovala hodnotu  $7,41 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny za rok. Tyto hodnoty tedy nepotvrdily druhou hypotézu na základě které by tráva *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1 měla s největší pravděpodobností nejlépe

reagovat na hnojení minerálními hnojivy, a proto by ze všech variant měla poskytnou nejvyšší výnosy.

K průměrným výnosům travní hmoty *Miscanthus × giganteus* však nutno dodat, že jejich hodnoty měly v průběhu prvních čtyř let sledování lineární průběh, porost se evidentně pomalu rozrůstal a ve čtvrtém užítkovém roce poskytoval výnos  $10,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  sušiny. V posledním roce sledování však porost výrazně zhoustl a výnos sušiny činil v šestém roce vegetace  $18,67 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ . U odrůdy Szarvasi-1 nastal opačný trend a už v pátém roce pěstování začal porost viditelně ustupovat a v šestém vegetačním roce dosahoval v "intenzivní" formě pěstování výnosů sušiny pouze  $6,18 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Vzhledem ke zmíněným hodnotám se dle očekávání lze domnívat, že hybrid *Miscanthus × giganteus* bude z dlouhodobého hlediska vykazovat vyšší produkční a energetický potenciál na jednotku plochy než odrůda Szarvasi-1 a jako energetická rostlina bude proto vhodnější pro přímé spalování. Kultivar Szarvasi-1 hnojený organickým hnojivem (digestátem) překvapivě poskytuje v dlouhodobém měřítku nepatrně vyšší výnosy než porost hnojený minerálními hnojivy. V extenzivní formě pěstování se dle předpokladu projevil deficit hnojiv a výnos travní hmoty byl tak znatelně nižší. Na základě toho lze při pěstování odrůdy Szarvasi-1 doporučit organická hnojiva.

## 7. Seznam použité literatury

### Odborná literatura:

BERNAS, J. Energetické využití trav. České Budějovice, 2010. JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH. Bakalářská práce.

BIČÍK, I., BAAR, V., ČERMÁK, Z., FRAJER, V. a PERLÍN, R. Hospodářský zeměpis: globální geografické aspekty světového hospodářství. 1. vyd. Praha: Nakladatelství České geografické společnosti, 2003. 96 s. ISBN 80-86034-52-6.

BIKAZUGI MEZŐGAZDASÁGI NONPROFIT KFT. "Szarvasi-1" energiafű [online]. 2004, [cit. 19.12.2017]. Dostupné z: <http://www.energiafu.hu/nemesit.html>.

CENEK, M. Obnovitelné zdroje energie. 2. uprav. a dopl. vyd. Praha: FCC Public, 2001. 208 s. ISBN 80-901985-8-9.

CENIA. Energetika – výroba a rozvod elektřiny a plynu [online]. Praha: CENIA, česká informační agentura životního prostředí, 2013, [cit. 5.11.2017]. Dostupné z: [http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=energetika\\_vyroba\\_a\\_rozvod\\_elektriny\\_a\\_plynu&site=spotreba](http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=energetika_vyroba_a_rozvod_elektriny_a_plynu&site=spotreba).

CLIFTON-BROWN J. C., LEWANDOWSKI I., ANDERSSON B., BASCH G., CHRISTIAN D. G., KJELDSSEN J. B., JØRGENSEN U., ... TEIXEIRA F. Performance of 15 Miscanthus genotypes at five sites in Europe. *Agronomy Journal*, 2001. 93: 5, 1013-1019.

CSETE, S., STRANCZINGER, S., SZALONTAI, B., FARKAS, A., PÁL, R. W., SALAMON-ALBERT, E., KOCSIS, M., ... BORHIDI, A. Tall Wheatgrass Cultivar Szarvasi - 1 (*Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi - 1) as a Potential Energy Crop for Semi - Arid Lands of Eastern Europe. *Sustainable Growth and Applications in Renewable Energy Sources*, Dr. Majid Nayeripour (Ed.) Rijeka, Croatia: InTech, 2011. ISBN 978-953-307-408-5.

ČESKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV. Územní teploty [online]. 2018 [cit. 5.3.2018]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>.

ČEZ, Biomasa [online]. 2017, [cit. 27.10.2017]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/biomasa.html>.

ERÚ. Energetický regulační úřad [online], 2017. Dostupné z: <http://www.eru.cz/>.

- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. *Elymus elongatus* [online]. 2012, [cit. 5.11.2017]. Dostupné z: <http://eunis.eea.europa.eu/species/190210/general>.
- FRYDRYCH, J., ANDERT, D., KÁRA, J., JUCHELKOVÁ, D. Výzkum a využití energetických trav. In Zemědělská technika a biomasa 2005: Sborník přednášek ze semináře VÚZT, MZe ČR 22.11.2005. Praha: VÚZT, 2005, č. 4, 51 – 55 s. ISBN 80-86884-07-4.
- FRYDRYCH, J., CAGAŠ, B., MACHÁČ, J. Energetické využití některých travních druhů. (Energetic use of some grass species). Praha: ÚZPI, 2001. 35 s. Zemědělské informace r. 2001, č.23.
- FUKSA, P. Netradiční využití biomasy v praxi. Biom.cz [online]. 2009 [cit. 15.12.2017]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/netradicni-vyuziti-biomasy-v-praxi>. ISSN: 1801-2655.
- GEBER, U. Cutting frequency and stubble height of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.): influence of quality and quantity of biomass for biogas production. Grass and Forage Science, 2002, vol. 57, no. 4, s. 389-394.
- GRUNEWALD, J. Ungarisches Energiegras, Riesenweizengras / Agropyron elongatum [online]. Energiepflanzen für Biogasanlagen: Freistaat Sachsen 2012, č. 1, s. 47 [cit. 10.1.2018]. Dostupné z: [http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/f/n/fnr\\_brosch.energiepflanzen-sachsen.pdf](http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/f/n/fnr_brosch.energiepflanzen-sachsen.pdf).
- HAVLÍČKOVÁ, K., WEGER, J., KONVALINA, P., MOUDRÝ, J. jr., STRAŠIL, Z. Zhodnocení ekonomických aspektů pěstování a využití energetických rostlin. VÚ Sylva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví v Průhonících a JU ZF v Č. Budějovicích, 2007. ISBN: 978-80-7040-948-0.
- HOLUB, P. Miscanthus - energetická rostlina budoucnosti ?. Biom.cz [online]. 2007, [cit. 2018-01-11]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/miscanthus-energeticka-rostlina-budoucnosti>. ISSN: 1801-2655.
- HOUDEK, I. Perspektivní druhy a odrůdy trav a jetelovin z ŠS Hladké Životice, s.r.o. Šlechtitelská stanice Hladké Živořice s.r.o., 2010.
- HUTLA, P., et al. Systémové využití energetické biomasy v podmínkách ČR. Závěrečná zpráva VÚZT, 2004, 73 s.
- HUTLA, P., JEVIČ, P. Solid biofuels from miscanthus. In: Proceedings of the International Scientific Conference, ČZU Praha, Technická fakulta, 5. – 7. května, 2009, s. 116-121. ISBN 978-80-213-1897-7.

IEA. International Energy Agency [online], 2017. Dostupné z: <https://www.iea.org/>.

JANOWSZKY, Z., JANOWSZKY, J., LELE, I., LELE, M., NAGY, H. J., RUSZNÁK, I., VIG, A. New annual Hungarian plants (industrial grasses) as raw materials in the pulp and paper industry [online]. Papíripar: Journal of the Technical Association of the Paper and Printing Industry and the Institute of Media Technology, Óbuda University. Budapest: Muzszaki Kvk, 2012, roč. 56, č. 4 [cit. 5.1.2018]. Dostupné z: [http://epa.oszk.hu/00800/00863/00046/pdf/EPA00863\\_papiripar\\_2012\\_04.pdf](http://epa.oszk.hu/00800/00863/00046/pdf/EPA00863_papiripar_2012_04.pdf). ISSN 0031 1448.

KÁRA, J., STRAŠIL, Z., HUTLA, P., ANDERT, D., JEVIČ, P., ŠEDIVÁ, Z., ADAMOVSKEÝ, R., POLÁK, M. Technologické systémy pro využití biopaliv z energetických plodin. (Technology systems for the use of biofuels from energy crops). Závěrečná zpráva VÚZT Praha, 2004. Projekt QD 1209, 121 s.

KÁRA, J., STRAŠIL, Z., HUTLA, P., UŠŤAK, S. Energetické rostliny: Technologie pro pěstování a využití. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2005, 81 s. ISBN 80-86884-06-6.

KAŽMIERSKI, T. Genetické modifikace - možnosti jejich využití a rizika. Praha: Ministerstvo životního prostředí České republiky, 2008, 48 s. ISBN 978-80-7212-493-0.

KOHOUTEK, A. et al. Kvalita píce z travních porostů a chov skotu v měnících se ekonomických podmínkách. Praha: VÚRV, v.v.i., 2010, s. 61 - 67. ISBN: 978-80-7427-043-7.

KOPECKÝ, M. Energetické využití trav. České Budějovice, 2010. JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH. Bakalářská práce.

KUBÍN, M. Energetika na prahu 21. století: Rozvojové trendy elektrotechniky. 1.vyd. Brno: Jihomoravská energetika, 2003. 458 s. ISBN 80-239-0423-X.

KUTIL, J. Hodnocení produkční schopnosti vybraných druhů energetických trav. České Budějovice, 2009. Diplomová práce. Jihočeská Univerzita, ZF, 57 s.

LIBRA, M., POULEK, V. Zdroje a využití energie. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2007, 141 s. ISBN 978-80-213-1647-8.

MACKAY, David J. C. Sustainable Energie – without the hot air. Cambridge: UIT Cambridge, 2008. ISBN 978-0-9544529-3-3.

MALAŤÁK, J., VACULÍK, P. Biomasa pro výrobu energie. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. ISBN 978-80-213-1810-6.

MEZŐGAZDASÁGI SZAKIGAZGATÁSI HIVATAL KIADVÁNYA. Nemzeti fajtajegyzék: Szántóföldi Növények [online]. Budapest, 2008, [cit. 7.1.2018]. Dostupné z: [www.nebih.gov.hu/data/cms/684/47/fajtajegyzekszant08.pdf](http://www.nebih.gov.hu/data/cms/684/47/fajtajegyzekszant08.pdf). ISSN 1585-8308.

MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. Aktualizace Státní energetické koncepce České republiky [online]. Praha: listopad 2012, 112 s, [cit. 1.11.2017]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/47607/53721/595041/priloha001.pdf>.

MOOSBAUER, J. a RIEGLSPERGER, G. Hirschgras [online]. Mehrjähriges Riesen-Weizengras für Energie- und Futterpflanzenanbau. KernKraft 2013 [cit. 5.12.2017]. Dostupné z: <http://maisersatz.de/energiepflanze.html>.

MOTLÍK, J., ŠAMÁNEK, L., ŠTEKL, J., PAŘÍZEK, T., BÉBAR, L., LISÝ, M., PAVLAS, M., ... VAŠÍČEK, J. Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice. Praha: ČEZ, a. s., 2007, 184 s. ISBN 978-80-239-8823-9.

MOUDRÝ, J., KALINOVÁ, J. Pěstování speciálních plodin - Multimediální texty [online]. 2004, České Budějovice: JČU v Č. Budějovicích, Zemědělská fakulta. [cit. 12.12.2017]. Dostupné z: <http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/skripta>.

MOUDRÝ, J., STRAŠIL, Z. Energetické plodiny v ekologickém zemědělství. Spolek poradců v ekologickém zemědělství, vH press Hradec Králové ve spolupráci s nadací Partnerství, 1998, 56 s.

MURTINGER, K. Možnosti využití biomasy. Biom.cz [online]. 2007 [cit. 20.12.2017]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-biomasy>. ISSN: 1801-2655.

MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J. Energie z biomasy. 1. vyd. Brno: ERA, 2006, 94 s. ISBN 80-7366-071-7.

NIEMELAINEN, O., JAUHAINEN, L., NIETTINEN, E. Yield profile of tall fescue (*Festuca pratensis*) in Finland. Grass and Forage Science, SEP 2001, vol. 56, no. 3, s. 249-258.

NOSKIEVIČ, P., JUCHELKOVÁ, D., ČECH, B. Biomasa a její energetické využití. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Ministerstvo životního prostředí ČR, Centrum pro otázky životního prostředí, 1996. 68 s. ISBN 80-7078-367-2.

- OCHODEK, T., KOLONIČNÝ, J., JANÁSEK, P. Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, výzkumné energetické centrum, 2006. ISBN 80-248-1207-4.
- PASTOREK, Z. Využití biomasy k energetickým účelům v zemědělství. In Ekologické aspekty využití a výroby energie v zemědělství, 1996, s. 5-6.
- PETŘÍKOVÁ, V. Světové zdroje obnovitelné energie a průmyslových surovin z biomasy: postřehy ze Sevilly. In Energetické a průmyslové rostliny VI. 2000. s. 10.
- PETŘÍKOVÁ, V., SLADKÝ, V., STRAŠIL, Z., ŠAFAŘÍK, M., UŠŤAK, S., VÁŇA, J. Energetické plodiny. 1. vyd. Praha: Profi Press, 2006, 56, 127 s. ISBN 80-867-2613-4.
- PORVAZ, P. Pestovanie ozdobnice čínskej (*Miscanthus sinensis* Anderss.) na energetické účely. Michalovce: Ústav agroekológie, 2008, 32 s. ISBN 978-80-88872-93-1.
- POŽÁROVÁ, I. Alternativní zdroje energie – biopaliva [online]. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2007, 44 s, [cit. 27.10.2017]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10563/4181>. ISBN 80-736-6071-7.
- SAIJONKARI-PAHKALA, K. Non-wood plants as raw material for pulp and paper. Agricultural and Food Science in Finland, 2001, 10: Suppl. 1, 101 pp.
- SCHEINOST, P., TILLEY D., OGLE, D., STANNARD, M. Plant Guide: Tall Wheatgrass *Thinopyrum ponticum* (Podp.) Z. -W. Liu & R. -C. Wang [online]. USDA NRCS Plant Materials Center, Pulman, Washington 2008, č. 1, s. 5 [cit. 20.12.2017]. Dostupné z: [http://plants.usda.gov/plantguide/pdf/pg\\_thpo7.pdf](http://plants.usda.gov/plantguide/pdf/pg_thpo7.pdf).
- SCHRABAUER, J. Trockentolerante Gräser. Perennierende Gräserarten für eine Futternutzung bzw. energetische Verwertung im semihumiden und semiariden Produktionsgebiet [online]. Wien: Masterarbeit, Universität für Bodenkultur Wien, 2010, [cit. 20.12.2017]. Dostupné z: [https://zidapps.boku.ac.at/abstracts/oe\\_list.php?paID=3&paSID=8166&paSF=1&paCF=0&paLIST=0&language\\_id=DE](https://zidapps.boku.ac.at/abstracts/oe_list.php?paID=3&paSID=8166&paSF=1&paCF=0&paLIST=0&language_id=DE).
- SKLÁDANKA, J., CAGAŠ, B., DOLEŽAL, P., HAVLÍČEK, Z., HEJDUK, S., HORKÝ, P., JANČOVIČ, J., ... ZEMAN, L. Pícninářství. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014, 368 s. ISBN 978-80-7509-111-6.
- STRAŠIL, Z. Study of reed canary grass – possible source for energy utilization. Italian Journal of Agronomy (Rivista di Agronomia), 2008, vol. 3, no 3 supplement, s. 557-558.

- STRAŠIL, Z. Základy pěstování a možnosti využití ozdobnice (*Miscanthus*). Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2009, 48 s. ISBN 978-80-7427-006-2.
- STRAŠIL, Z., KOHOUTEK, A., DIVIŠ, J., KAJAN, M., MOUDRÝ, J., MOUDRÝ, J. jr. Trávy jako energetická surovina. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby Ruzyně, 2011. ISBN 978-80-7427-078-9.
- STRAŠIL, Z., MOUDRÝ, J. jr. Porovnání Chrastice rákosovité (*Phalaris Arundinacea* L.) a ozdobnice (*Miscanthus*) z produkčního hlediska. In: Acta Pruhoniciana. Průhonice: Výzkumný ústav okrasného zahradnictví, 2011, s. 5-11. ISBN 978-80-85116-79-3.
- STRAŠIL, Z., J. WEGER, P. HUTLA, J. KÁRA, et al. Pěstování ozdobnice (*Miscanthus*) určené pro energetické využití (Shrnutí dlouholetého sledování). [The cultivation of *Miscanthus* determined for energy use (a summary of long-term monitoring)]. In: Biopaliva z pohledu energetiky a vlivu na životní prostředí. Sborník odborného semináře pořádaného v Praze - Ruzyni dne 5. 11. 2015. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., 2015. s. 29 - 41. ISBN: 978-80-86884-91-2.
- ŠIMON J., STRAŠIL Z. Perspektivy pěstování plodin pro nepotravinářské účely. Praha: ÚZPI, 2000, 50 s. ISBN 80-7271-047-8.
- ŠNOBL, J., ŠTAUD, J., VAŠÁK, J., ZIMOLKA, J. Rostlinná výroba IV.: Chmel, len, konopí, využití biomasy k energetickým účelům. Praha: ČZU, Agronomická fakulta, Katedra rostlinné výroby, 2004, 119 s.
- THE PLANT LIST. *Elymus elongatus* (Host) Runemark [online]. 2010, [cit. 18.12.2017]. Dostupné z: <http://www.theplantlist.org/tpl/record/kew-411120>.
- ÚKZÚZ. Seznam odrůd zapsaných ve Státní odrůdové knize [online]. Věstník Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského, Brno 2017, roč. 16, č. 3 [cit. 10.12.2017]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/odrudy/informace-o-odrudach/odrudy-registrovane-v-cr/seznam-odrud/>.
- VÁŇA, J. Fytoenergetika: přínos pro řešení ekologických problémů. Energetické a průmyslové rostliny. 4. vyd. Chomutov : CZ-Biom a VÚRV, 1998. s. 15.
- VÁŇA, J. Využití travní fytomasy k výrobě kompostů. Biom.cz [online]. 2001, [cit. 10.1.2018]. Dostupné z: <http://biom.cz/index.shtml?x=45264>. ISSN 1801-2655.
- VRÁBLÍKOVÁ, J. Úvod do agroenergetiky. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně - fakulta životního prostředí, 2000, 140 s. ISBN 80-7044- 231-X.



WEGER, J., STRAŠIL, Z., HONZÍK, R., BUBENÍK, J. Možnosti pěstování biomasy jako energetického zdroje v Ústeckém kraji. Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, 2012, 78 s. ISBN 978-80-85116-66-3.

ZÁRYBNICKÁ, M. Biomasa – obnovitelný zdroj energie. Výukový materiál [online]. 2012, [cit. 1.11.2017]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/13906554-Biomasa-obnovitelnny-zdroj-energie.html>.

# 8. Přílohy

## 8.1 Fotografická dokumentace

Obr. 1: Setí odrůdy Szarvasi-1 do připravené půdy 17. 4. 2013.



Zdroj: Kopecký M. (2013)

**Obr. 2: Ruční výsadba hybridu *Miscanthus × giganteus* 22. 4. 2013.**



Zdroj: Kopecký M. (2013)

**Obr. 3: Porost *Miscanthus × giganteus* 10. 10. 2013**



Zdroj: Kopecký M. (2013)

**Obr. 4: Porost Szarvasi-1 20. 5. 2013.**



Zdroj: Kopecký M. (2013)

**Obr. 5: Porost *Miscanthus* × *giganteus* 6. 8. 2014.**



Zdroj: Kopecký M. (2013)

**Obr. 6: Porost Szarvasi-1 21. 7. 2014.**



Zdroj: Kopecký M. (2013)

**Obr. 7: Porost Szarvasi-1 6. 6. 2016.**



Zdroj: Kopecký M. (2013)

**Obr. 8: Porost *Miscanthus* × *giganteus* 19. 9. 2017.**



Zdroj: Kopecký M. (2013)

**Obr. 9: Porost Szarvasi-1 13. 3. 2018 (před sklizní pro přímé spalování).**



Zdroj: Švec M. (2018)

**Obr. 10: Porost *Miscanthus × giganteus* 13. 3. 2018 (před sklizní pro přímé spalování).**



Zdroj: Švec M. (2018)

**Obr. 11: V popředí porost Szarvasi-1, v pozadí *Miscanthus × giganteus* 13. 3. 2018 (před sklizní pro přímé spalování).**



Zdroj: Švec M. (2018)