

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta tropického zemědělství
Katedra udržitelných technologií



Česká zemědělská univerzita v Praze
**Fakulta tropického
zemědělství**

Vliv průběhu vegetačního období na základní parametry
vybraných energetických plodin

Bakalářská práce

Praha 2015

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Bc. Tatiana Ivanova, Ph.D

Vypracovala: Barbora Medová

Čestné prohlášení

*Tímto prohlašuji, že jsem tuto práci na téma **Vliv průběhu vegetačního období na základní parametry vybraných energetických plodin** napsala a vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a použila jsem jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury. Jako autorka této bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila práva třetích osob.*

V Praze, dne

.....

Barbora Medová

Poděkování

Ráda bych na tomto místě poděkovala vedoucí bakalářské práce **Ing. Bc. Tatiáně Ivanové, Ph.D.** za konzultace, odborné vedení, cenné rady, ochotu a čas, který mi věnovala.

Dále bych chtěla poděkovat **Ing. Zdeňku Piksovi** za odbornou přípravu, pomoc a ochotu při laboratorním měření, které bylo potřebné k vypracování praktické části této bakalářské práce. Další poděkování patří doktorandu **Muratu Konganbayevovi** za asistenci v laboratoři biopaliv FTZ ČZU.

Poděkování patří i rodině a blízkým za podporu a trpělivost.

Abstrakt

Velká spotřeba fosilních paliv je příčinou nenávratného vyčerpání jejich zásob a environmentálních rizik, ke kterým dochází během jejich spalování. Do popředí se dostává zkoumání alternativních zdrojů, jako jsou energetické plodiny, které by mohly v budoucnu fosilní paliva nahradit. Technické konopí (*Cannabis sativa L.*) a ozdobnice čínská (*Miscanthus x giganteus*) se zdají jako perspektivní plodiny, o nichž pojednává tato bakalářská práce.

Hlavním cílem literární rešerše předložené práce bylo shromáždit informace o energetických plodinách (zpracování, základní energetické parametry). U ozdobnice čínské a konopí setého je podrobně popsána jejich základní charakteristika (původ, odrůdy, botanické zařazení, morfologie), dále pěstování, možnosti využití a světové experimenty.

Hlavním cílem vlastního výzkumu bylo sledování změn obsahu vody, spalného tepla a obsahu popela v závislosti na průběhu vegetačního období u *Cannabis sativa L.* a *Miscanthus x giganteus*. Odběr vzorků pro stanovení cílových parametrů probíhal od října 2014 až do konce března 2015.

Na začátku podzimního měření (říjen 2014) byl obsah vody v biomase konopí 61,87 % a u ozdobnice 56,69 %; spalné teplo konopí vyšlo na 17 879,5 J.g⁻¹ a pro ozdobnici 18 961,5 J.g⁻¹; stanovený obsah popela u konopí činil 9,56 % a u ozdobnice 4,01 %. Na konci jarního měření (březen 2015) byly hodnoty následující: pro konopí obsah vody 15,04 %, spalné teplo 18 142,5 J.g⁻¹ a obsah popela 5,81 %; u ozdobnice byl obsah vody 25,39 %, spalné teplo 19 477 J.g⁻¹ a obsah popela 3,02 %. Z hlediska růstových parametrů dosahovala ozdobnice vyššího vzrůstu než konopí.

V průběhu odběru vzorků došlo u obou zkoumaných plodin k poklesu obsahu vody a obsahu popela, zatímco hodnoty spalného tepla se navýšily. Na základě porovnání výsledných hodnot se ukazuje jarní sklizeň vybraných plodin pro energetické využití jako vhodnější než sklizeň podzimní.

Klíčová slova: konopí seté (*Cannabis sativa L.*), ozdobnice čínská (*Miscanthus x giganteus*), obsah vody, spalné teplo, obsah popela, tuhá biopaliva

Abstract

Large consumption of fossil fuels is causing the irretrievable depletion of their reserves and environmental risks that occur during their combustion. The searching for alternative sources such as energy crops which could replace fossil fuels in the future are coming to the fore. Industrial hemp (*Cannabis sativa L.*) and Miscanthus (*Miscanthus x giganteus*) seem to be perspective crops and this Bachelor's thesis is focused to their study.

The main aim of literature review of the present thesis was to collect information about energy crops (processing, main energy parameters). The basic characteristics of miscanthus and hemp (origin, varieties, botanical classification, morphology) as well as growing process, possibilities of use and the worldwide experiments are described in detail, too.

The main aim of the own research was to observe changes in water content, gross calorific value and ash content in dependence on growing season for *Cannabis sativa L.* and *Miscanthus x giganteus*. Collection of samples for determination of target parameters was conducted from October 2014 until end of March 2015.

At the beginning of autumn measuring (October 2014) was moisture content of hemp 61.87 % and miscanthus 56.69 %; calorific value of hemp was $17\,879.5 \text{ J.g}^{-1}$ and for miscanthus $18\,961.5 \text{ J.g}^{-1}$; ash content of hemp was measured to be 9.56% and for miscanthus 4.01%. At the end of spring measuring (March 2015) the results were as follows: moisture content of hemp 15.04%, its calorific value $18\,142.5 \text{ Jg}^{-1}$ and ash content 5.81%; moisture content of miscanthus 25.39%, its calorific value $19\,477 \text{ Jg}^{-1}$ and ash content 3.02%. Comparing the growing parameters miscanthus shows higher growth than industrial hemp.

In the course of the sampling collection the decreasing trend in moisture and ash contents was investigated for both energy crops, while the gross calorific values was increasing within time. Based on the results comparison the spring harvest of selected crops for energy use seems to be more preferable than autumn one.

Key words: industrial hemp (*Cannabis sativa L.*), miscanthus (*Miscanthus x giganteus*), moisture, gross calorific value, ash content, solid biofuels

Obsah

1 Úvod	1
2 Literární řešerše	3
2.1 Energetické plodiny.....	3
2.2 Způsoby zpracování energetických plodin	5
2.2.1 Pyrolýza	6
2.2.2 Spalování	6
2.2.3 Zplynování	7
2.3 Základní parametry určované u energetických plodin.....	7
2.3.1 Elementární složení paliva	7
2.3.2 Obsah vody.....	8
2.3.3 Spalné teplo	8
2.3.4 Popel z biomasy.....	8
2.4 Ozdobnice (<i>Miscanthus</i>)	9
2.4.1. Základní charakteristika ozdobnice.....	9
2.4.2 Pěstování ozdobnice	12
2.4.3 Energetické využití ozdobnice.....	14
2.4.4 Pokusy s ozdobnicí založené ve světě	15
2.5 Konopí seté (<i>Cannabis sativa L.</i>)	18
2.5.1 Základní charakteristika konopí	18
2.5.2 Pěstování konopí setého	19
2.5.3 Využití technického konopí	21
2.5.4 Pokusy s technickým konopím založené ve světě.....	21
3 Cíle a hypotézy	23
4 Materiál a metodika.....	24
4.1 Materiál.....	24
4.2 Metodika	26
4.2.1 Měření růstových parametrů	26
4.2.2 Stanovení obsahu vody	26
4.2.3 Stanovení spalného tepla.....	28
4.2.4 Stanovení obsahu popela.....	30
5 Výsledky a diskuze	32

5.1 Vyhodnocení měření růstových parametrů	32
5.2 Vyhodnocení stanovení obsahu vody	35
5.3 Vyhodnocení stanovení spalného tepla	38
5.4 Vyhodnocení stanovení obsahu popela	40
6 Závěr.....	42
7 Reference	43

Seznam obrázků

Obrázek 1: *Miscanthus x giganteus* v březnu 2015

Obrázek 2: Schéma pozemku, na kterém bylo vyseto konopí (odrůda Bialobrzeskie)

Obrázek 3: *Cannabissativa L.* odrůda Bialobrzeskie na demonstračním pozemku (foceno 21. 7. 2014 – cca 3 - měsíční porost)

Obrázek 4: Sušení vzorků konopí a ozdobnice v sušárně MEMMERT model 100-800

Obrázek 5: Vzorky ozdobnice a konopí a)

Obrázek 6: Vzorky ozdobnice a konopí b)

Obrázek 7: Vzorky ozdobnice a konopí c)

Obrázek 8: Kalorimetr typu MS – 10 A

Obrázek 9: Muflová pec LAC

Obrázek 10: Porcelánové kelímky s popelem

Seznam grafů

Graf 1: Výšky stonků *Cannabissativa L.* (odrůda Bialobrzeskie)

Graf 2: Výšky stonků *Miscanthus x giganteus*

Graf 3: Průměrné výšky konopí a ozdobnice

Graf 4: Průměrné průměry stonků konopí a ozdobnice

Graf 5: Obsah vody v *Cannabissativa L.* v období od 21. října 2014 do 25. března 2015

Graf 6: Obsah vody v *Miscanthus x giganteus* v období od 21. října 2014 do 25. března 2015

Graf 7: Spalné teplo u *Cannabissativa L.*

Graf 8: Spalné teplo u *Miscanthus x giganteus*

Graf 9: Obsah popela u *Cannabissativa L.*

Graf 10: Obsah popela u *Miscanthus x giganteus*

Seznam tabulek

Tabulka 1: Opakovatelnost a reprodukovatelnost metody při stanovení obsahu popela a uvedení maximálních přijatelných rozdílů mezi výsledky

1 Úvod

V dnešní době, konkrétněji od 20. století do současnosti, jsou jako hlavní zdroj energie využívána fosilní paliva. Mezi nejvíce zužitkovaná patří uhlí, ropa a zemní plyn. S fosilními palivy je spojeno hned několik nevýhod. Předně, jejich množství je limitováno, což v budoucnu znamená jejich nenávratné vyčerpání, vzhledem k jejich intenzivnímu využívání. Nejzávažnějším problémem, který se aktuálně řeší, však je, že způsobují globální oteplování a klimatické změny. To je následkem stále se navyšující koncentrace oxidu uhličitého a skleníkových plynů v atmosféře během jejich zpracování. Pokud neuvažujeme ekonomickou stránku věci, tak už jen z těchto důvodů je důležité omezit využití fosilních paliv. Již existují alternativní způsoby a zdroje, které jsou jak z ekonomického, tak především z ekologického hlediska šetrnější k Zemi a výhodnější než dosud zmíněný typ energie. Jedná se například o pěstování energetických plodin, tudíž použití biomasy (fytomasy) jako obnovitelné energie namísto fosilních paliv (Rehman et al., 2013).

Biomasa má velký potenciál hned z několika hledisek. Pozitivně přispívá k omezení skleníkového efektu (Petříková, 2005). Při spalování biomasy rovněž vzniká oxid uhličitý, který však skleníkový efekt nenavyšuje, protože rostliny za svého růstu odebírají z ovzduší CO_2 a při spalování ho do ovzduší opět vracejí. Tudíž pěstování energetické fytomasy představuje významné vázání (sekvestraci) oxidu uhličitého z atmosféry (Petříková, 2006). Dále biomasa ovlivňuje ekologii krajiny svojí intenzivní zelení, umožňuje efektivní využití půdy a v neposlední řadě má i významné sociální aspekty, neboť přispívá k vytvoření nových pracovních příležitostí. Ze zemědělského hlediska umožní produkovat netradiční komodity, které neslouží pro potravinářské účely. To znamená, že místo potravin může zemědělství určitým podílem produkovat energii. Pro pěstování energetických rostlin lze s výhodou využít půdu, která není potřebná pro produkci potravin nebo krmiv (Rehman et al., 2013; Petříková, 2005).

Pro výrobu energie se biomasa může využít ve zbytkové neboli odpadní formě, jakožto odpad z pěstování, těžby a zpracování dřeva, slámy, obilnin a olejnin nebo odpad ze živočišné výroby. Vedle zmíněné zbytkové biomasy se energie získává i z tzv. cíleně pěstovaných energetických rostlin, mezi něž patří rychle rostoucí dřeviny, jednoleté a

vytrvalé byliny. Biomasa slouží nejen k vytápění prostor a získání tepla pomocí dřevní štěpky, briket či pelet, ale i k výrobě elektřiny z bioplynu.

Biomasa je tedy obnovitelným zdrojem neboli nosičem energie a má jak velký potenciál, tak i perspektivu. Mezi konkrétní pěstované energetické plodiny s velkým potenciálem může patřit konopí seté (*Cannabis sativa L.*) a ozdobnice velká (*Miscanthus x giganteus*), jež jsou předmětem této práce. U konopí a ozdobnice jsou zkoumány klíčové energetické parametry, jako jsou obsah vody, spalné teplo a obsah popela, a změny těchto parametrů během průběhu vegetační doby.

2 Literární řešerše

2.1 Energetické plodiny

Vyšší nadmořská výška, svahovitost terénu, výskyt půdních erozí a nižší úrodnost půdy – aspekty, díky nimž se snižuje zájem o zemědělské využití orné půdy především plodinami, které jsou pěstované pro potravinářský průmysl. Na druhé straně je tu i ten fakt, že v současné době dochází ve většině zemí Evropské Unie včetně České republiky k nadprodukcii potravin. Jedním z řešení těchto problémů může být netradiční využití půdy pro produkci nepotravinářských plodin, mezi které řadíme průmyslové a energetické plodiny (Rehman et al., 2013; Kovářová et al., 2002). V současné době máme k dispozici mnoho dlouholetých výzkumných výsledků s jednotlivými zdroji biomasy ze zemědělské výroby i způsoby jejího energetického využití. Dá se říct, že dochází k postupné renesanci využití dřeva a biomasy, poněvadž využití biomasy lidmi k účelu výroby energie fungovalo už v dávné historii (Stražil & Šimon, 2009).

Termínem **energetické plodiny** jsou označovány taxony dřevin, trvalek a bylin – tedy botanické druhy, kultivary, klony, přírodní i záměrní kříženci, jež jsou využívány nebo testovány pro záměrnou produkci biomasy k energetickému využití (resp. výroba pevných, kapalných a plyných biopaliv) (Weger, 2009). **Biomasa** je zdroj obnovitelný, nevyčerpatelný racionálním využíváním na rozdíl od fosilních paliv, jejichž dostupné zásoby se odhadují jen na desítky let, kromě uhlí (zásoby na 150 – 200 let). Dále můžeme biomasu definovat jako CO₂ neutrální palivo. Neutrální z toho důvodu, že emise tohoto hlavního skleníkového plynu (CO₂) jsou rovny jeho spotřebě v nové narůstající biomase. Skladování a transformace různých forem biomasy na pevná, kapalná a plynná biopaliva umožňuje její použití v různých energetických zdrojích a i v dopravě (Weger, 2009).

Ve světě existuje široká škála druhů rostlin, které se využívají v energetickém průmyslu a během posledních let dochází k jistému posunu v chápání těchto plodin a to tak, že se po vzoru biopaliv rozdělují na energetické plodiny 1. a 2. generace. Skupinu **energetických plodin 1. generace** tvoří původně potravinářské, krmivářské a případně technické zemědělské plodiny, které jsou zpracovány převážně na kapalná nebo plynná biopaliva. Patří sem například řepka (výroba čistého řepkového oleje), pšenice (výroba etanolu), žito (výroba pelet) nebo kukuřice (výroba bioplynu a etanolu v USA). Do skupiny

energetických plodin 2. generace patří „nové energetické plodiny“ někdy také nazývané ligno-celulónní. Jsou to vybrané klony a odrůdy rychle rostoucích dřevin, vytrvalých travin a bylin. Existují prognózy, podle kterých by se tyto energetické plodiny měly v zemědělství výrazně rozšířit v druhém desetiletí spolu s komerčním rozvojem technologií zkapalňováním biomasy (např. na ethanol) a efektivních metod spalování (např. kogenerací). Pěstování energetických plodin 2. generace bude mít za dopad lepší ekonomickou efektivnost a výrazně vyšší environmentální přínosy (Weger, 2009).

Ze všech druhů energetických rostlin však lze v podmínkách mírného pásu, ve kterém leží i Česká republika, pěstovat jen některé plodiny. Proto je velmi důležitý vhodný výběr rostlin. Výběr rostlin je ovlivněn několika faktory jako například druh půdy, sklizeň, prostředky pro pěstování, způsob využití rostliny nebo doprava apod. Dále je nutné porovnat výnosy s náklady na pěstování a výrobu energie včetně zajištění odbytu pěstované komodity (Stražil, 2009). Mezi energetické plodiny, které jsou vhodné pro pěstování v našich podmínkách, patří nejen tradiční polní druhy, ale i netradiční a nové druhy (Pulkrábek & Urban, 2009). Tyto rostliny můžeme rozdělit na:

- **jednoleté:** např. obiloviny, řepka, konopí, len, lnička a další alternativní olejnin, topinambur aj.
- **víceleté a vytrvalé:** např. ozdobnice čínská, chrastice rákosovitá, křídlatka japonská, rákos obecný, šťovík krmný aj.
- **rychle rostoucí dřeviny:** např. topoly, vrby, olše aj.

Plodiny jednoleté, které jsou pěstované pro energetické využití, většinou nejsou pro zemědělský podnik velkým finančním zatížením, protože podnik vlastní potřebnou techniku. Významnou věcí je i to, že půda je nadále v dobrém stavu, který je důležitý pro možný návrat pro pěstování plodin k potravinářským účelům (Kovářová et al., 2002). Nejvhodnější využívání biomasy je v místě jejího vzniku, bez zajišťování dopravy a převážení na delší vzdálenosti. Proto je účelné používat biomasu v malých teplárenských provozech (např. pro vytápění budov) a domácnostech, které jsou rovnoměrně rozmístěné v různých regionech. Je tím zajištěna zvýšená energetická bezpečnost a případně i možnost nových pracovních příležitostí v teplárenských provozech či výrobnách biopaliv.

Význam pěstování energetických plodin je nesporný. Jejich fytoenergetické využití neškodí životnímu prostředí. Jejich pěstování přispívá k omezení škodlivé eroze půdy a umožňuje pěstování nových druhů (Petříková, 2009). Je velmi důležité vhodně kombinovat všechny formy biomasy a využívat je efektivním způsobem, neboť biomasa je jedním z nejvýznamnějších zdrojů obnovitelné energie (Pulkrábek & Urban, 2009).

Aktuální postoj České republiky vůči problematice obnovitelných zdrojů je aktivní, neboť již probíhá příprava strategických materiálů tzv. operačních programů, které by už v roce 2015 měly čekat na schválení vlády ČR a komise Evropské Unie. Problematika obnovitelných zdrojů energie je řešena hned v několika programech: Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost (OPPIK), Operační program Životní prostředí (OPŽP) a Program rozvoje venkova (PRV). OPPIK zahrnuje z hlediska obnovitelných zdrojů energie projekty jako Podpora výroby a distribuce energie pocházející z obnovitelných zdrojů nebo Podpora energetické účinnosti a využívání zdrojů z obnovitelné energie v podnicích. PRV například projektuje Investice na podporu energie z obnovitelných zdrojů (CZ Biom, 2015). Můžeme jen doufat v pozitivní podporu a aktivní realizaci těchto programů, jak ze strany politické scény České republiky, tak i Evropské Unie.

2.2 Způsoby zpracování energetických plodin

Hlavním důvodem, proč pěstovat energetické plodiny a využívat jejich biomasu (fytomasu), je možnost využití energie ve formě tepla či elektřiny. Využitím energetických rostlin k dosažení energie můžeme rozumět ohřátí vzduchu, vody nebo získání jiných druhů energie. Zpracování energetických plodin za účelem získání energie ovlivňují fyzikální a chemické vlastnosti daných rostlin. Hlavní roli hraje hranice vlhkosti obsažené v rostlině (50 % vlhkost), podle které dále rozdělujeme procesy zpracování biomasy energetických rostlin na mokré a suché procesy. Mezi mokré procesy řadíme fermentaci, alkoholové kvašení a methanové kvašení. Tyto procesy jsou charakterizované biochemickou přeměnou. Do suchých procesů řadíme pyrolýzu, spalování a zplynování, jež jsou charakterizované termochemickou přeměnou.

Mechanicky lze biomasu zpracovat například lisováním (oleje), štěpením, briketováním, peletováním, mletím nebo esterifikací. Těmito mechanickými procesy získáme kvalitnější palivo, které je následně využíváno pro získání energie (Cejlak, 2008; Beranovský et al., 2007; Stražil, 2009).

2.2.1 Pyrolýza

Pyrolýzu můžeme definovat jako proces, při kterém je za nepřístupu vzduchu surovina ohřívána na 300 – 500°C. Ohřívání probíhá do té doby, dokud nejsou ze suroviny vypařeny veškeré emisní a toxické látky. Takto vzniká dřevěné biouhlí, které může dosahovat až dvojnásobné energetické hodnoty, než kterou má vstupní surovina. Tento způsob zpracování energetických plodin můžeme označit za jeden z nejjednodušších (proces probíhá za relativně nízkých teplot) a za šetrný vůči životnímu prostředí, například v porovnání se spalováním, u kterého při zpracování dochází k většímu úniku emisních látek. Nejvyužívanější surovinou, která se zpracovává pyrolýzou, je dřevo, ale dají se využívat i suroviny jako je ozdobnice, sláma z obilnin či z řepky. Existuje ale i další řada netradičních zdrojů, které lze zpracovat pyrolýzou, protože by neměli žádnou využitelnost z energetického hlediska. Tudíž se jedná i o ekonomicky výhodný proces, do kterého není potřeba investovat vysoké náklady (Honus et al., 2013; Beranovský et al., 2007; Mimmo et al., 2014).

2.2.2 Spalování

Spalování můžeme charakterizovat jako chemický proces rychlé oxidace, během kterého dochází k uvolňování tepla. Tento proces zpracování energetických plodin patří mezi celosvětově nejvyužívanější. Spalování je ověřená, finančně dostupná, nejstarší a doposud nepoužívanější technologie, která transformuje organické palivo, ze kterého dostáváme energii v podobě tepla. Ke spalování se nejvíce používá dřevo, které má společně například s hnědým uhlím výhřevnost 15,1 MJ/kg. Čerstvé dřevo či jiná nedřevnatá plodina mají počáteční vlhkost cca 60 %, zatímco dřevo, které je už vhodné ke spálení, má vlhkost okolo 30 %. V současné době se spaluje kromě dřeva ozdobnice čínská, kukuřice,

sláma z obilovin či řepka olejná. Při spalování biomasy je důležitým kritériem výhřevnost, kterou definujeme jako množství tepla získané při spálení 1 kg paliva. Samotné spalování může mít několik podob. Nejvyužívanější technologie spalování jsou:

- Spalování na roštu
- Spalování se spodním přívodem paliva
- Spalování na speciálních hořácích či hořákových provedeních
- Spalování ve fluidní vrstvě (fluidní kotle)
- Spalování v zařízeních jako jsou kamna, sporáky, krby, krbová kamna, kachlová kamna a kotle (průmyslové, zplyňovací, automatické, automatizované, atd.) (Skála & Ochodek, 2007; Ochodek et al., 2007).

2.2.3 Zplynování

Zplynování je proces termochemický, při němž dochází k přeměně uhlíkatého materiálu v pevném či kapalném stavu na energeticky výhřevný plyn. Takto vznikají hořlavé plyny jako H_2 , CO a CH_4 , které mají velmi dobrou výhřevnost. Kromě těchto látek ještě vznikají doprovodné složky (CO_2 , H_2O , N_2) a znečišťující složky jako prach, dehet, sloučeniny S a Cl. Složení plynu vzniklého zplynováním je H_2 : 18 – 20 %, CO : 18–20 %, CH_4 : 2–3 %, CO_2 : 8–10 %, N_2 : 47 – 54 %. Zplynování probíhá ve zplyňovacích kotlích, ve kterých můžeme zpracovávat dřevo, dřevní štěpku, brikety či pelety (Pohořelý & Jeremiáš, 2010).

2.3 Základní parametry určované u energetických plodin

2.3.1 Elementární složení paliva

Určuje biochemické složení (celulóza, hemicelulóza, lignin), chemické složení biopaliv (C, O, H, N, S, Cl) a další stopové prvky či těžké kovy. Elementární složení paliv má význam pro stechiometrii paliv, což je potřebné množství dodávaného vzduchu ke spálení jednotky paliva a regulaci procesu spalování (Kolektiv autorů, 2006).

2.3.2 Obsah vody

Obsah vody je termín užívaný v bioenergetice. Je to podíl vody, který je udáván v procentech (%), na celkové hmotnosti vzorku paliva. Aby se dalo biopalivo využít, musí být hranice obsahu vody 50 % (maximálně 55 % u velmi kvalitních paliv). Obsah vody odlišujeme od termínu vlhkost dřeva, jež je užívaný v dřevozpracujícím průmyslu, kde zohledňuje procento vlhkosti poměr obsahu vody k sušině vzorku. (Obsah 50 % vody dle energetiků odpovídá 100 % vlhkosti dle truhlářů). Obsah vody se stanovuje vysušením daného vzorku v sušárně při 105 °C po dobu 24 hodin. Během této doby však dochází k nepřesnostem z důvodu úniku části těkavých hořlavin. Nově se začínají zavádět elektronické metody přímého stanovení obsahu vody (Kolektiv autorů, 2006).

2.3.3 Spalné teplo

Spalné teplo můžeme definovat jako celkové množství tepla (udává se v kJ na jednotku vzorku 1g) absolutně suchého paliva po úplném spálení vzorku v kyslíkovém kalorimetru při kondenzaci vody, vzniklé spálením v palivu obsaženého vodíku. Spalné teplo se běžně udává v jednotkách MJ/kg nebo GJ/t. U biopaliv obsahujících vysoký podíl popelovin, se rozlišuje spalné teplo původního vzorku a obsažené hořlaviny (Kolektiv autorů, 2006).

2.3.4 Popel z biomasy

Popel je anorganická složka paliva, která zůstane v kotli po spálení organické hmoty, jež je obsažená v biomase. Popel obsahuje většinu minerálních látek původní biomasy. Množství popela v biopalivech se průměrně pohybuje v rozmezí 1-6 %. Dřevo obsahuje relativně nižší množství popela (0,3 – 1 %), zatímco vyšší hodnoty nalezneme v kůře (3 – 4 %), slámě (5 %) nebo trávách/stébelnách (7 %). (V rýžových slupkách může obsah popele činit až 40 %). Pro srovnání, v černém uhlí se obsah popela pohybuje v rozmezí od 10 – 13 % (Ochecová, 2015; Khan et al., 2009; Biedermann&Oberberger, 2005; James et al., 2012). Chemické složení a množství popelů z biomasy závisí na faktorech, jako je typ spalované biomasy, druhy rostlin, růstové podmínky, stáří rostlin, použití hnojiv či pesticidů, doby sklizně apod (Vassilev et al., 2010).

2.4 Ozdobnice (*Miscanthus*)

O ozdobnici se už v 90. letech 20. století začalo uvažovat jako o plodině, která by měla být využívána nejen jako ozdobná rostlina, ale i jako jeden z alternativních zdrojů obnovitelné energie, a v posledních letech se tato úvaha začala realizovat jak ve světě tak i u nás v ČR. Existuje řada pěstitelských pokusů, jimiž se zjistilo, že za příznivých podmínek může poskytovat průměrně více než 30 tun sušiny nadzemní fytomasy z 1 hektaru za rok. V roce 2005 bylo v Evropě vysázeno okolo 500 ha ozdobnice a největší podíl, okolo 80% této vysázené plochy, se nacházelo hlavně v Německu a Nizozemsku (Kolektiv autorů, 2006; Stražil, 2009). V dnešní době je již vysázeno 2000 ha ozdobnice, a to jen v Německu (Iqbal&Lewandowski, 2014). Proto je ozdobnice považována za velmi potencionální rostlinu, kterou lze využívat v energetickém průmyslu nebo k výrobě vláken (Stražil, 2009).

2.4.1. Základní charakteristika ozdobnice

Ozdobnice patří mezi vytrvalé víceleté traviny typu přeměny uhlíku C4 a roste až do výšky 4 metrů. Ozdobnice velmi dobře využívá sluneční energie, vody, živin a značně odolává chorobám a škůdcům, což má za následek vysoké výnosy sušiny za příznivých podmínek. Původně ozdobnice pochází z východní Asie (Čína, Japonsko, Thajsko, Korea), kde byla její výsadbou používána na protierozní ochranu půdy nebo jako krmná plodina. Do Evropy byla dopravena v roce 1935 jako okrasná travina. V 80. letech se začala ozdobnice využívat pro technické účely a až v 90. letech počaly experimenty pro průmyslové zpracování ozdobnice jako stavebního materiálu, papíru, rostlinného substrátu, geotextilie či obalového materiálu. V tomto desetiletí se začalo pracovat s myšlenkou využití ozdobnice jako obnovitelného energetického zdroje a započal tak intenzivní výzkum (Stražil, 2009; Kolektiv autorů 2006). Ozdobnice je v přirozených podmínkách nejvíce rozšířena v tropickém, subtropickém a mírném klimatickém a geografickém pásmu. V současnosti rod *Miscanthus* přirozeně roste po celém světě. V České republice je ozdobnice povolena jako energetická plodina, vůči které nejsou z hlediska pěstování žádné výhrady pro nepříznivé vlivy na životní prostředí (Stražil, 2009; Holub, 2007).

Botanicky je ozdobnice zařazena do třídy jednoděložné (*Monoxyledonae*), čeledi lipnicovité (*Poaceae*), tribusvousatkovité (*Andropogoneae*). Počet chromozomů této

rostliny je $2n = 38$. Dřevnatějící stéblo ozdobnice je velmi pevné a lata je široká, okolíkatě patrovitá. Klásky jsou na bázi jemných chlupů, které jsou přibližně stejně dlouhé jako osinaté či bezosinné chloupky. Květy jsou tvořeny chlupatými, nachově hnědými klásky, které vytvářejí rozvětvené laty. Čepele listů mohou být až 1 m dlouhé a široké 1 cm. Listy jsou lysé a zelené vytrvávající přes zimu, během které se začínají zbarvovat do bronzově zlaté barvy. Oddenky ozdobnice bývají krátké a často dřevnaté. Rovněž jsou důležité z hlediska rozmnožování, především v našich podmínkách, a ročně naroste 10 až 20 nových. (Stražil, 2009; Holub, 2007). Co se týče kořenového systému ozdobnice, tak v prvním roce narůstá do mnohem většího objemu než je tomu u nadzemních částí. Hloubka kořenů může dosahovat více než 1 m, ale i přesto největší hustota kořenového systému byla zjištěna v orniční vrstvě (Stražil, 2009).

Rod *Miscanthus* zahrnuje přibližně okolo 33 druhů (podle GRIN/NPGS taxonomických informací <http://www.ars-grin.gov/>). Mezi nejrozšířenější druhy patří:

- ***Miscanthus capensis*(Nees) Andersson**
Přírodně je rozšířen v Africe (Lesotho, Natal, Kapská provincie, Svazijsko, aj.).
- ***Miscanthus violaceus*(K. Schum.) Pilg.**
Druh je rozšířen v Africe (Keňa, Tanzanie, Zambie, Uganda, Burundi, aj.).
- ***Miscanthus junceus*(Stapf) Pilg.**
Přírodně se vyskytuje v Africe (Botswana, Namibie, Svazijsko, Kapská provincie, Zimbabwe, aj.).
- ***Miscanthus nepalensis*(Trin.) Hack.**
Přírodní výskyt je v mírných oblastech Asie (Čína) a v tropické Asii (Nepál, Bhútán, Indie).
- ***Miscanthus floridulus*(Labill.) Warb. ex K. Schum. & Lauterb.**
Přírodní rozšíření tohoto druhu je v mírných oblastech Asie (Japonsko, Čína, Tchaj-wan), v tropických oblastech Asie (Filipíny, Indočína, Indonésie, Malajsie) a v Pacifiku (Francouzská Polynésie, Fidži).
- ***Miscanthus sacchariflorus*(Maxim.) Benth.**
Přírodně se vyskytuje v mírných oblastech Asie (Čína, Japonsko, Korea, Rusko - Amur a přímořské oblasti).

- ***Miscanthus sinensis* Andersson**

Druh je přirozeně rozšířen v mírných oblastech Asie (Japonsko, Čína, Korea, Rusko – Kurilské ostrovy a přímořské oblasti, Tchaj-wan) a v tropických oblastech Asie (Filipíny, Indonésie).

- ***Miscanthus sinensis* Andersson subsp. *sinensis***

Přirozený výskyt je v mírných oblastech Asie (Čína, Gruzínsko, Korea, Japonsko a přímořské oblasti Ruska).

- ***Miscanthus sinensis* Andersson var. *formosanus* Hack.**

Druh se vyskytuje v mírných oblastech Asie (Tchaj-wan) (Stražil, 2009).

V praktické části této bakalářské práce je zkoumán klon ***Miscanthus x giganteus***. *M. x giganteus* je sterilním triploidním hybridem (křížencem) dvou druhů – *Miscanthus sinensis* (diploidní) a *Miscanthus sachariflorus* (tetraploidní). Tato odrůda je velmi odolná vůči chorobám a škůdcům, poněvadž doposud žádné nebyly zaznamenány, a také velmi dobře odolává mrazům. V našich podmínkách se jí příliš nerozrůstají oddenky a semena nedozrávají, proto nejsou schopna se dále samovolně šířit do prostředí. *M. x giganteus* dosahuje nejvyšších hektarových výnosů, což je cca za příznivých podmínek až 40 t sušiny/ha (v porovnání s *M. sinensis* je to až dvakrát více) a má vhodné palivové vlastnosti. V Evropě je *M. x giganteus* nejvíce pěstovaným klonem a i v České republice se mu daří (Stražil, 2009; Holub, 2007; Sovák & Stupavský, 2009; Ivanova, 2012). Klonu *Miscanthus sinensis* je podstatně menší než klon *M. x giganteus* dosahuje i menších hektarových výnosů. Z hlediska rajonizace se klon *M. sinensis* vyskytuje v severní Evropě (Stražil, 2009).

Na Obrázku 1 můžeme vidět vyfocený víceletý porost *Miscanthus x giganteus*, který se nachází v areálu ČZU.



Obrázek 1: *Miscanthus x giganteus* v březnu 2015 (foceno před sklizní v areálu ČZU)

(foto: vlastní)

2.4.2 Pěstování ozdobnice

Z hlediska **stanoviště** se na pěstování ozdobnice nejvíce hodí strukturně lehké či lehčí půdy a teplejší klimatické oblasti s vyšším úhrnem srážek. Z lehkých půd jsou vhodné humózní písčité půdy, které mají vysokou hladinu podzemní vody (ne více než 60 cm), s téměř žádným zaplevelením vytrvalými plevely. Nevyhovující půdy jsou mělké půdy v kombinaci s dlouhým obdobím sucha během léta či chladné jílovité půdy. Na vysoké výnosy fytomasy má největší vliv vysoké množství srážek a vyšší teploty během vegetační doby (květen – září). Avšak ozdobnice je označována za plodinu méně náročnou na teplotu a velmi dobře snáší i mírný polostín. Optimální pH půdy by se mělo pohybovat v rozmezí 5,5 až 6,5. Při pH nad 7,0 byly pozorovány výnosové deprese. Transpirační koeficient ozdobnice činí 250 l/kg sušiny. Transpirační koeficient určuje množství vody v litrech, které je potřebné pro růst jednoho kilogramu sušiny. Ozdobnice je tedy plodina, která umí velmi dobře hospodařit s vodou, v porovnání například s pšenicí (koeficient transpirace činí 540l/kg) či vojtěškou (transpirační koeficient je 840 l/kg) (Stražil, 2009). Ozdobnice se sází v období, kdy je teplota půdy vyšší než 10 °C, od poloviny května až do poloviny července. Nejvhodnějšími předplodinami jsou okopaniny (cukrová řepa, brambory), luskoviny či obilniny. Doporučuje se založit porost ozdobnice minimálně na 10

až 20 let, protože po několika letech ozdobnice zlepšuje některé půdní vlastnosti (Stražil, 2009; Kolektiv autorů, 2006; CZ Biom, 2011).

Vhledem k **hnojení**, *Miscanthus* je plodina, která nepotřebuje hnojit téměř vůbec. Na půdách s menší zásobou živin se doporučuje druhým rokem hnojit na jaře a to jednorázově 70 kg/ha K, 40 kg/ha P a 50 – 80 kg/ha N. Kromě hnojení minerálními hnojivy lze hnojit také organickými hnojivy například kejdou skotu v dávce 30 m³/ha (úspěšně použito v Rakousku) (Kolektiv autorů, 2006; Holub, 2007; Stražil, 2009).

Co se týče **ochrany rostlin**, již bylo zmíněno, že porosty ozdobnice nejsou výrazně napadány škůdci či chorobami, proto není zapotřebí žádné chemické úpravy. V prvním roce po vysazení je možné použít mechanické hubení plevelů v podobě prutových bran. Aplikace herbicidů se doporučuje proti dvouděložným plevelům a to přípravky Lanacil (dávka 1 kg/ha) či Rounup (dávka 2 – 3 l/ha). Dalším rokem už většinou není nutné používat herbicidy z toho důvodu, protože odpadává listová hmota, která vytváří vrstvu mulče zabraňujícího růstu plevelů (Holub, 2007; Kolektiv autorů, 2006; Stražil, 2009).

Termín sklizně a samotná **sklizeň** závisí u ozdobnice na využití plodiny. Každá možnost využití vyžaduje různý obsah vody a další parametry. Také by se mělo brát na zřetel, že je to plodina dosahující vysokých výnosů. Sklizeň by měla být uskutečněna v době, kdy má ozdobnice nízký obsah vody, tedy v období na přelomu března a dubna. Je to období, ve kterém se ještě neobjevují nové výhonky rostliny, neboť při jejich výskytu během sklizení by se mohly značně poškodit. Pokud v období března a dubna obsah vody v rostlině není dostatečně nízký, musí se rostlina dodatečně dosušet (Hayes, 2013; Stražil, 2009). Podle Lewandowskiho & Heinze (2003) při sklizni v období března a dubna bude mít ozdobnice nízkou vlhkost, avšak na úkor toho sklídíme plodinu, u které budou ztráty nadzemní fytomasy činit okolo 30 – 35 %. K těmto ztrátám dochází z toho důvodu, že růstové období ozdobnice končí od srpna až září v zemích jižní Evropy a u střední a severní Evropy dochází ke ztrátám vlhkosti již po prvních mrazech (Stražil, 2009). Sklizeň ozdobnice se uskutečňuje samochodnými řezačkami, které se používají na kukuřici. Sklizená sláma se může balíkovat nebo se z ní můžou dále lisovat pelety či brikety (Holub, 2007; Stražil, 2009). Po výsadbě se nesklízí dříve nežli po 22 měsících. V druhém roce je výnos sušiny do 9 tun a v dalších letech mezi 15 – 25 t/ha. Výnos může dosáhnout i více než 30 t/ha při intenzifikaci hospodaření (Holub, 2007). Průměrný světový výnos ozdobnice dosahuje

hodnot 10 až 25 t/ha za rok. Výnos udávaný v České republice se pohybuje okolo 18 t/ha suché nadzemní biomasy za rok. Největší zaznamenaný výnos činí 44 t/ha za rok a byl dosažen v Dánsku (Valíček, 2002). Pro úplnou likvidaci porostu je známo několik metod. Jedna z metod může být chemická likvidace nově rašících výhonků na jaře (období března až dubna) nebo další možností je vyorání rhizomů na povrch, které se provádí na podzim rotačním kultivátorem, kde přes zimu rhizomy vymrzou (Holub, 2007).

Uvedením příkladu pokusu podle Strašila & Moudrého (2011), který byl proveden v letech 2007 až 2010 v Lukavci, můžeme z výsledků zjistit, že doporučený a vhodnější termín sklizně je na jaře. Pokus se zaměřoval na porovnání ozdobnice s chrasticí rákosovitou z produkčního hlediska, což znamenalo sledování vlivu počasí a různých termínů sklizně na výnosy fytomasy plodin. Během uvedeného období při sklizni na podzim činil výnos sušiny 8,86 t/ha a při sklizni na jaře činil výnos 6,77 t/ha. Průměrné ztráty fytomasy u ozdobnice během období od podzimu do jara činily 25,6 %.

2.4.3 Energetické využití ozdobnice

Téměř v celé Evropě, zejména v západní části, se většina projektů zabývá energetickým využitím ozdobnice. Hlavní komoditou je teplo, které vzniká v nejčastějších případech přímým spalováním ozdobnice, pyrolýzou či zplynováním (Strašil, 2009). Pro to, aby se mohla ozdobnice energeticky využívat, je důležité znát její výhřevnost a chemické složení. Tyto parametry nám určí, jak kvalitním palivem může ozdobnice být. Spalné teplo sušiny celé rostliny činí 18 – 19 MJ/kg, což je hodnota, které nedosahuje ani běžně používané hnědé uhlí. Výhřevnost hnědé uhlí, kterým se topí v domácnostech, se pohybuje mezi 12 – 14 MJ/kg (Strašil, 2009; Holub, 2007).

Podle Lewandowskiho et al.(2000) se biomasa ozdobnice, která je určena pro přímé spalování, dá srovnat s kvalitou dřevní biomasy. V současné době je běžným trendem i přidávání ozdobnice k hnědému uhlí, se kterým se společně spaluje. Přimíchání ozdobnice k hnědému uhlí vede ke snížení emisí (CO₂, NO_x, SO_x), protože její biomasa obsahuje menší množství dusíku a síry v porovnání s uhlím (Strašil, 2009).

Dalším energetickým využitím ozdobnice je výroba pevných biopaliv v podobě briket, pelet či peletek a různých granulí, které rovněž slouží k vytápění domácností. Vytápění

těmito pevnými biopalivy probíhá většinou v kotlích (Sovák & Stupavský, 2009; Holub, 2007; Stražil, 2009). Podle Ivanové (2012) se hodnoty spalného tepla u sušených briket, jež byly vyrobeny v poměru 1:1 (50 % *Miscanthus x giganteus* a 50 % hobliny), pohybují okolo 21,02 MJ/kg.

Dále se využívá sláma ozdobnice, která slouží k přímému vytápění v kotlích, anebo může sloužit jako podestýlka pro hospodářská zvířata (např. koně). Suchá sláma ozdobnice sklizené na jaře se využívá jako pevné biopalivo k přímému spalování a zplynování v podobě velkých balíků, sekaného materiálu či pelet. Bylo vynaloženo úsilí k získání energie z ozdobnice pomocí fermentace. Zjistilo se však, že tomuto zpracování brání vysoký obsah ligninu, který má vysoké hodnoty právě u ozdobnice sklizené na jaře. Potvrdilo se, že pro produkci energie pomocí fermentace je vhodná biomasa či sláma ozdobnice sklizené na podzim či začátku zimy, protože v tomto období sklizně je obsah ligninu nejnižší (Jørgensen, 2010).

Další komoditou je výroba buničiny, jež má velmi vysoký obsah celulózy (až 40 %). Výroba buničiny je důležitá pro následnou výrobu biolihu (Sovák & Stupavský, 2009; Holub, 2007; Stražil, 2009).

Neenergetické využití ozdobnice můžeme označit ekologické obalové materiály či stavební materiály v podobě izolačního lehkého betonu, dřevovláknitých desek, květináčů, rakví, apod (Holub, 2007).

2.4.4 Pokusy s ozdobnicí založené ve světě

Již byl zmíněn pokus, jehož autorem je Jørgensen (2010). Jørgensen popisuje vliv termínu sklizně ozdobnice na obsah ligninu, který je stěžejní pro energetické využití ozdobnice pomocí fermentace.

První studií je **Inter-annual variation in biomass combustion quality trans over five years in fifteen *Miscanthus* genotypes in south Germany**, jejíž autory jsou Yaris Iqbal a Iris Lewandowski. Tato studie se zabývá sledováním patnácti různých genotypů ozdobnice v jižním Německu z hlediska meziročního kolísání hodnot spalného tepla v rozpětí let 2004 až 2010. Data byla poskytována z pokusu, který byl založen již v roce 1997 na experimentální farmě v Ihinger Hofu jako projekt Evropské Unie zvaný EMI (European

Miscanthus Improvement). Byly zkoumány parametry jako vlhkost, popel a chemické složení biomasy (N, P, K, Cl, Na, Mg, Ca a Si), které jsou stěžejní pro kvalitu spalného tepla. Hlavními faktory zájmu při sledování 15 různých genotypů *Miscanthu* byly klimatické podmínky (srážky a teplota vzduchu) a různé termíny sklizně (leden, únor, březen, duben). Dále byly sledovány interakce jako termín sklizně-stárnutí a termín sklizně-množství srážek, které mají významný vliv na stabilitu vlastností biomasy během produktivního období růstu. U *M. sacchariflorus* interakce termín sklizně-stárnutí zlepšuje kvalitu spalného tepla snížením koncentrace Mg o 29 % a snížením koncentrace obsahu popela o 18 %, zatímco interakce termín sklizně-množství srážek přispívá ke snížení koncentrací Ca, Si a N o 8 %, 4 % a 6 %. U genotypů *M. x giganteus* ukázala větší důslednost na koncentrace minerálů, obzvláště u K a Cl, a větší výnosy sušiny v porovnání s *M. sinensis* během produktivního období růstu (Iqbal&Lewandowski, 2014).

V závěrech bylo zjištěno, že genotypová rozdílnost hraje velkou roli ve výnosech i v chemickém složení biomasy. U *M. x giganteus* se prokázalo, že genotypy mají nejvyšší průměrnou koncentraci K a zároveň dosahují nejvyšších výnosů sušiny ze všech zkoumaných genotypů. U *M. sinensis* bylo zjištěno, že genotypy dosahují nejnižších výnosů sušiny ze všech zkoumaných genotypů, nejnižších průměrných koncentrací prvků (především K a Cl) a celkově nejnižších průměrných koncentrací všech minerálů. Na druhou stranu u *M. sinensis* prokázal nejnižší obsah vlhkosti. Z hlediska meziročních změn v letech 2004 – 2006 došlo u všech genotypů k navýšení koncentrací Si, Ca a Mg a v následujícím roce 2007 došlo ke snížení a stagnaci těchto prvků. V roce 2008 byl zaznamenán nejvyšší celkový průměrný výnos sušiny a v roce 2005 byla prokázána nejvyšší koncentrace obsahu popela (Iqbal&Lewandowski, 2014).

Stejný pokus rovněž popisuje studie z roku 2012 s názvem **Long-term yield and performance of 15 different *Miscanthus* genotypes in southwest Germany**, jejíž autory jsou Gauder, Graeff-Hönniger, Lewandowski a Claupein.

Druhá studie se nazývá **The effect of harvest date and harvest method on the combustion characteristics of *Miscanthus x giganteus***, kterou napsali Meehan, Finnan a McDonnell a publikovali v roce 2012. Tato studie zkoumá chemické složení biomasy u zastřižených stonků *M. x giganteus* v období měsíců leden až březen a složení tohoto

porostu shromážděného ve stejný den v dubnu, kdy proběhla kontrola. Celý experiment se uskutečnil v Irsku. Pokusem se pak zkoumal vliv data, kdy byl stonek uříznut, na chemické složení celé rostliny (listy i stonky). V obou částech experimentu byla zkoumána nižší výhřevnost na vlhký základ (LHVWB), popel, obsah Cl, N, S, C a H. Rozsahy hodnot zaznamenaných parametrů z obou aspektů tohoto procesu byly LHVWB 4,84 – 11,87 MJ/kg; popel 1,44 – 1,97 %; Cl 0,07 – 0,23 %; K 0,15 – 0,32 %; N 0,28 – 0,39 %; S 0,13 – 0,19 %; C 46,75 – 50,00 %; H 5,76 – 6,09 %.

Jeden ze závěrů pojednává o tom, že při průběžném stříhání stonků biomasy a její následné ponechání na poli snížilo obsah popele a obsah Cl a C ve stoncích více v porovnání s kontrolou (v měsíci duben), kdy sklizení/zastřížení porostu a jeho shromáždění proběhlo ve stejný den. Dalším závěrem bylo, že termín sklizně ovlivňoval LHVWB i obsah Cl a C v rostlině tím způsobem, že tyto parametry se s pozdější sklizní zlepšovaly. Z toho tedy vyplynulo, že kvalita spalování lze zlepšit pozdějším datem sklizně a ponecháním rostlin na poli až do období kolektivního sběru (Meehan et al., 2012).

Stejný experiment popisuje také studie **An assessment of the effect of harvest time and harvest method on biomass loss for *Miscanthus x giganteus*** od stejných autorů z roku 2013.

Třetí studii k tomuto tématu napsaly autorky Arnoult, Obeuf, Béthencourt, Mansard a Brancourt-Hulmel, kterou publikovaly v roce 2014, a která nesla název ***Miscanthus clones for cellulosic bioethanol production: Relationships between biomass production, biomass production components, and biomass chemical composition.*** Experiment byl založen v severní Francii v regionu Picardie, kde bylo studováno 21 klonů ozdobnice (15 klonů *M. sinensis*, 4 klony *M. x giganteus* a 2 klony *M. sacchariflorus*). Vzhledem k poloze, ve které experiment probíhal, zde převažovalo oceánské klima. Studie se zabývala ozdobnicí jako velmi vhodnou rostlinou pro výrobu bioethanolu, poněvadž je ozdobnice prezentována vysokou produkcí nadzemní biomasy, vysokým obsahem celulózy a hemicelulózy a nízkým obsahem ligninu a popela. Experiment probíhal více než 3 roky (sběr dat započal již v roce 2008 a pokračoval do roku 2011) a v každém roce se uskutečnily dvě sklizně (podzimní a zimní). Mezi uvedenými klony se studovaly vzájemné vztahy mezi produkcí a složením biomasy a termínem sklizně (Arnoult et al., 2014).

2.5 Konopí seté (*Cannabis sativa* L.)

O předešlé ozdobnici můžeme tvrdit, že je v našich podmínkách relativně novou pěstovanou plodinou. U konopí tomu tak však není. Existují archeologické výzkumy o tom, že konopí se na našem území používalo již Kelty v době laténské (4. stol. př. n. l.).

V dřívějších dobách se konopí u nás pěstovalo především pro pevná vlákna a semena a neexistovala žádná omezení pro jeho pěstování. Avšak za posledních pár desetiletí se konopí stalo spornou plodinou právě z hlediska jeho pěstování, a to kvůli obsahu omamných látek, u kterých je možnost zneužití ve formě drog. Nesmíme ale opomínat fakt, že konopí seté neboli technické konopí obsahuje jen velmi malé množství omamných látek, díky čemu je tato plodina všestranně využívána (Kolektiv autoů. 2006; Široká, 2009). V České republice je povoleno pěstovat odrůdy, které obsahují omamné látky THC (tetrahydrocannabinoly) pod 0,3 % (normy EU povolují 0,2 %) (Plíštil, 2004). Nejvíce je tato rostlina využívána v průmyslu, avšak v posledních letech se konopí seté dostalo do povědomí zemědělců jako energetická plodina s velkým potenciálem.

2.5.1 Základní charakteristika konopí

Konopí je jednoletá teplomilná rostlina, kterou můžeme označit jako náročnou na vodu, půdu i agrotechniku, zatímco relativně odolná vůči škůdcům a chorobám. Původ konopí sahá až do Střední Asie. Je to velmi přizpůsobivá rostlina, která se dá pěstovat v oblastech s různou zeměpisnou šířkou (Kolektiv autorů, 2006).

Konopí seté spadá do čeledi konopovité (*Cannabaceae*) a může být dvoudomá i jednodomá kulturní plodina. Samčí rostliny jsou vyšší a štíhlejší, mají světlejší listy a šedo zelený vrchol. Dozrávají o 4 – 6 týdnů dříve než samičí rostliny. Samičí rostliny jsou nižší, silnější, a mají více listů, které jsou tmavší než u samčích plodin. Průměrná výška stonku technického konopí dorůstá do průměrné výšky 2 metrů (ale i 4 m). Když je stonek ve fázi dřevnatění, obsahuje 13,5 – 19,5 % vlákna. Konopí patří mezi cizosprašné (větrosnubné) plodiny (Kolektiv autorů, 2006).

Rozlišujeme 3 základní druhy konopí:

- **Konopí rumištní** (*Cannabis ruderalis Janisch.*), neboli konopí plané, jež je jednoletým plevelem, který roste na rumišťích a skládkách. Tento druh neobsahuje žádné omamné látky.
- **Konopí indické** (*Cannabis indica Lam.*), které je zakázané pěstovat pro jeho vysoký obsah psychoaktivních látek ve všech zelených částech rostliny.
- **Konopí seté** (*Cannabis sativa L.*), které je nejvíce rozšířeným druhem konopí. Obsahuje cca 23 % vláknů a 75 % dřevité hmoty – tzv. pazdeří. Tato plodina potlačuje plevele, má rekultivační a protierozní schopnosti, odčerpává z půdy nečistoty, jedovaté látky a těžké kovy (Široká, 2009; Kolektiv autorů, 2006; CZ Biom, 2011).

V roce 2009 bylo uvedeno, že celosvětová plocha, kde bylo pěstováno konopí pro průmyslové a hospodářské účely, byla odhadována na 70 000 – 80 000 ha (Marie Široká, 2009).

U konopí setého rozeznáváme 3 formy:

- a) severní
- b) jižní
- c) přechodné (Stražil, 1998; Kolektiv autorů, 2006).

2.5.2 Pěstování konopí setého

Konopí je poměrně citlivé na mráz a vyžaduje teplejší oblasti s úrodnými půdami. Mladé rostliny sice snášejí slabší mrazíky, avšak na horších půdách vyskytujících se v chladných oblastech dosahují nižších výnosů. Na počátku růstu konopí vyžaduje velké nároky na dostatečný přísun vody, později je už schopné lépe odolávat přechodným suchům. Nejvhodnější půdy pro pěstování technického konopí jsou úrodné, hluboké a dobře zpracovatelné půdy, mezi které patří hlinité a písčitohlinité s nízkou spodní vodou, dobře hnojené a bohatě zásobené humusem. Mezi nevhodné půdy patří mělké, kamenité, hlinité, písčité, jílovité, atd. Konopí se dá pěstovat při nižších výnosech i na méně úrodných půdách v chladných oblastech. Sladký (2002) uvádí, že konopí lze pěstovat všude v mírném pásmu s výjimkou trvale zamokřených či trvale přesušených půd. V České

republiky lze konopí pěstovat ve všech úrodných oblastech (Šíroká, 2009; Kolektiv autorů, 2006; Stražil, 1998).

Mezi nové odrůdy technického konopí, které jsou schválené pro pěstování v EU a mají požadovaný obsah THC pod 0,3 %, patří **Carmagola, CS, Delta 405, Delta Lolsa, Epsilon 68, Fedora, Fedrina, Felina, Ferimon, Fibranova, Fibrimon 24, Fimbimon 56, Futura, Santhica 23, Fasamo, Komolti, Beniko a JUSO 11** (CZ Biom, 2011).

Z hlediska vhodných předplodin jsou nejvhodnější ty plodiny, které zanechávají půdu kyprou, čistou a dobře zásobenou živinami (především N). Mezi tyto plodiny patří okopaniny, luskoviny, kukuřice, jetel vojtěška či obiloviny. Samotné konopí je vhodnou předplodinou pro ostatní pěstované rostliny, protože zanechává půdu čistou a v dobrém stavu (Kolektiv autorů, 2006).

Jak už bylo uvedeno, konopí je rostlina vyžadující velké množství živin. Půda, na které je konopí pěstováno by měla být dobře vyhnojena statkovými a průmyslovými hnojivy. Ze statkových hnojiv se nejvíce využívá chlévský hnůj (30 t/ha), ale dobré účinky má i zelené hnojení. Průmyslovými hnojivy je potřeba dodat K, který příznivě ovlivňuje výnos stonků, a jakost vláken, dále P, Ca či ledek vápenatý na list. Konopí vyžaduje neutrální až zásaditou půdu (Kolektiv autorů, 2006).

Co se týče ochrany proti škůdcům a chorobám, je konopí poměrně odolná rostlina, avšak ne tak dobře jako ozdobnice. Konopí může škodit dřepčík chmelový, housenky můry gama, mšice konopná či zavíječ kukuřičný. Nejčastěji se vyskytujícími chorobami jsou plíseň šedá, fuzariózy, rakovina nebo některé choroby virového původu. Nejnebezpečnější chorobou je nejspíš bílá sklerociová hniloba. Občas škodí i ptactvo, které se může živit semeny. Pokud je slabší výskyt plevelů, tak není zapotřebí používat chemické prostředky či herbicidy (Kolektiv autorů, 2006).

Sklízení konopí rozlišujeme na sklízení na semeno a sklízení na vlákno. V současné době přichází v úvahu sklizeň najednou, kdy je konopí sklíženo tak, že se posekají celé rostliny, semena jsou ve spodní polovině květenství v plné zralosti a horní v mléčné zralosti. Semeno lze sklízet kombajnem CASE IH (CZ Biom, 2011; Kolektiv autorů, 2006). Sladký (2002) uvádí, že sklizeň semen je vhodné provádět 3 – 4 týdny po odkvětu, tudíž v období září a října. Mezi další mechanické technologie určené ke sklízení patří sklízecí rezačka, secí stroj, obraceč apod.

2.5.3 Využití technického konopí

Konopí je plodinou, která je mnohostranně využitelná. Zvláště se dá využívat konopné semeno i konopné stonky, ze kterých se získává vlákno.

Z konopí se dá vyrobit až 25 tisíc stoprocentně recyklovaných výrobků. Základní využitelnou surovinou je biomasa (vlákna, pazdeří) a semena (Široká, 2009).

Konopná semena obsahují 30 – 35 % vysychavého oleje, který má vysoké zastoupení mastných kyselin (palmitová, stearová, linolová, linoleová), vitamíny E, 15 – 22 % bílkovin, 15 – 21 % bezdusíkatých látek, 13 % vlákniny a 4 % popelovin. Konopný olej, který je získán lisováním, má využití v potravinářství (výroba tuků, piva), konzervárenství (rybí konzervy), na výrobu laků, barev, mýdel či motorového paliva. Po lisování semen zůstanou kromě oleje i zbytkové pokrutiny, které jsou využívány jako dietetické krmivo pro hospodářská zvířata či jako palivo (Široká, 2009; Kolektiv autorů, 2006).

Některé látky získané z konopí se využívají i v kosmetice a lékařství.

Pokud jde o konopné stonky, mají využití v textilním průmyslu (oblečení, povlečení, ručníky, koberce, obuv, tašky apod.), pro výrobu celulózy (chemikálie, umělé hmoty, vlákna, papír) a ve stavebnickém průmyslu. Konopná vlákna se dále využívají pro výrobu lan, provazů, nití popruhů, plachet, pláten, nábytkových látek, tepelné izolace apod (Široká, 2009; Kolektiv autorů, 2006).

Z energetického hlediska je využití konopných stonků takové, že obsahují rostlinnou buničinu (dřevitá část), která je velmi vhodná pro výrobu biopaliv (brikety, pelety, dřevěné uhlí). Ve dřeni je obsažena celulóza a hemicelulóza, které lze přeměnit na alkoholová paliva (metanol nebo etanol) (Široká, 2009).

2.5.4 Pokusy s technickým konopím založené ve světě

První studií je **Potential of bioenergy production from industrial hemp (*Cannabis sativa L.*): Pakistan perspective** (Rehman et al., 2013), ve které se pojednává o ekonomické krizi probíhající v Pákistánu. K ekonomické krizi došlo z důvodu nedostatku zásob energie a plynu, který už zastavil mnoho průmyslových odvětví (textilní, malé a střední podniky, místní doprava). V letech 2008 -2009 utratila pákistánská vláda za dovoz energie 9 miliard US \$, aby byly splněny současné energetické požadavky. Původní zdroje energie, kterými

bylo fosilní palivo, jsou již využívány na maximum a v příštích 10 letech se očekává zvýšení poptávky energie na dvojnásobek. V tuto chvíli se dostává do popředí biomasa jakožto obnovitelný zdroj, který by mohl být využit k zajištění energetické ochrany.

V Pákistánu začalo být úspěšně zkoumáno průmyslové konopí (*Cannabis sativa L.*) pro jeho potenciál k tomu, být využíváno jako obnovitelná surovina pro produkci biopaliv. Konopí se začalo pěstovat za účelem splnění energetických požadavků, pro jeho šetrnost k životnímu prostředí a pro snížení nákladů na dovoz energie, protože konopí roste na velkém území v Pákistánu divoce a má ideální podmínky pro pěstování.

Druhou vybranou studií je **Effect of harvest date on combustion related fuel properties of industrial hemp (*Cannabis sativa L.*)** (Prade et al., 2012). Studie se zaměřuje na energetické plodiny a jejich biomasu, jejímž spalováním se dá přispět ke snížení emisí skleníkových plynů. Na spalování biomasy právě fungují různé velkokapacitní továrny na výrobu tepla, elektřiny atd. Jako materiál experimentu bylo vybráno technické konopí, které je energeticky výnosnou plodinou.

Byl založen experiment, při kterém bylo konopí pěstováno na 2 nezávisle plánovaných polních pokusech. Pole od sebe ležely 900 km na jihu a severu Švédska. Na severu Švédska experiment zahrnoval období 2 sezón, 2 pole a 4 různé odrůdy konopí. Na jihu Švédska experiment zkoumal pouze období 1 sezóny a jen 1 odrůdu konopí. Vzorky u obou experimentů byly odebrané na jaře a na podzim a probíhalo u nich stanovení základního složení minerálů, výhřevnosti, obsahu vody a počáteční teploty deformace.

U experimentů bylo zjištěno, že lepší spalovací vlastnosti mají vzorky sklizené na jaře (vlastnosti nebyly ovlivněny výběrem odrůdy a zeměpisnou polohou) a dosahují větších hodnot spalného tepla než u jiných dostupných surovin zemědělské biomasy (chrástice, obilná sláma). V závěru bylo potvrzeno, že konopí je velmi vhodné biopalivo, ale je zapotřebí testů a ekonomických analýz k určení konkurenceschopnosti ve srovnání s ostatními zdroji biomasy.

3 Cíle a hypotézy

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo zkoumání změn základních parametrů (spalné teplo, obsah vody a obsah popela) včetně růstových vlastností energetických plodin *Cannabis sativa L.* a *Miscanthus x giganteus* v průběhu vegetačního období.

Specifickým cílem práce bylo na základě analýzy výsledků měření určit nejvhodnější období sklizně vybraných plodin pro energetické využití.

Cílem literární rešerše této bakalářské práce bylo shrnutí poznatků o energetických plodinách se zaměřením na konopí seté a ozdobnici čínskou, jejich využití, pěstování a zkoumání.

Při sestavování bakalářské práce byly stanoveny tři hypotézy:

Hypotéza 1: Obsah vody v průběhu vegetačního období u konopí a ozdobnice klesá;

Hypotéza 2: V průběhu vegetačního období spalné teplo vybraných plodin stoupá;

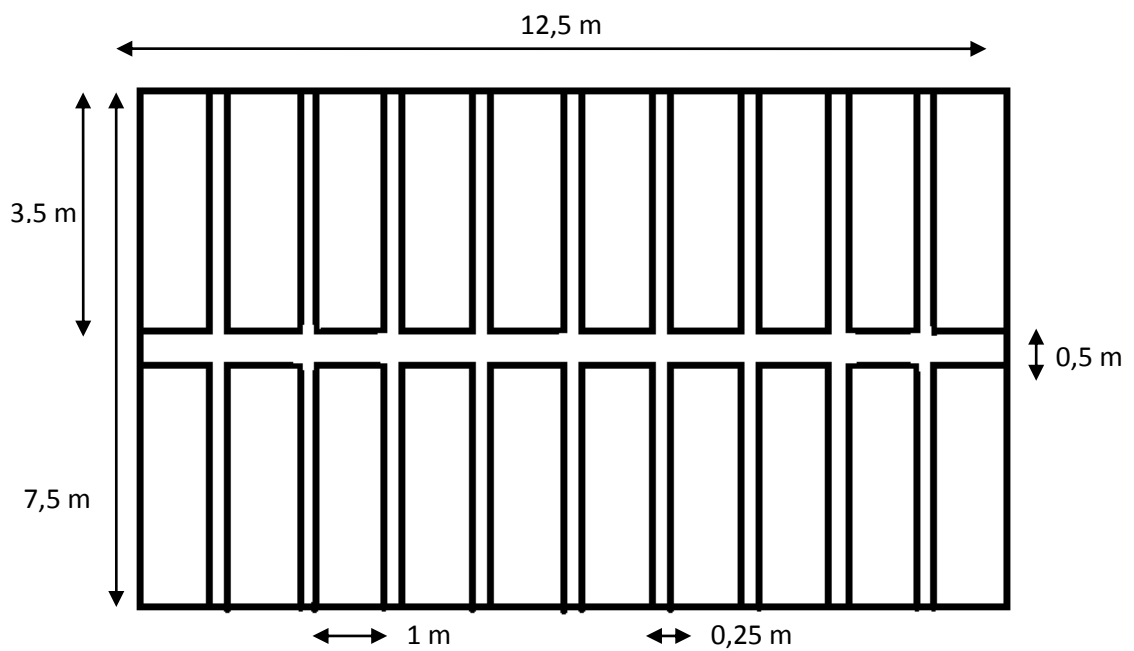
Hypotéza 3: Obsah popela v biomase vybraných rostlin se během průběhu vegetačního období nemění.

4 Materiál a metodika

4.1 Materiál

V praktické části byly pro výzkum vybrány dvě energetické plodiny. Jednou z nich je ozdobnice, konkrétně klon *Miscanthus x giganteus*, která byla odebírána z pokusného pozemku, nacházejícího se v zahradnictví areálu ČZU. Parcela, na které roste *M. x giganteus* se člení na 6 dílčích parcelek. Parcela je 20 m dlouhá a cca 3,5 m široká, tudíž celková výměra plochy je 70 m². Porost ozdobnice je víceletý, jelikož byl založen již v roce 2007. Měření probíhala po jarní sklizni roku 2014 v následujících termínech: 21. října 2014; 4. listopadu 2014; 20. listopadu 2014; 11. prosince 2014; 14. ledna 2015; 17. února 2015; 25. března 2015. V každém uvedeném termínu se pro následné testování vybraly 3 rostliny, a to vždy náhodným výběrem.

Druhou zkoumanou rostlinou bylo konopí seté (*Cannabis sativa L.*), a to polská odrůda Bialobrzieskie. Na začátku května roku 2014 byla založena pokusná plocha v areálu ČZU, na které byla odrůda Bialobrzieskie vyseta. Pozemek, na kterém se experiment založil, měřila 12,5 m na délku a 7,5 m na šířku (celková výměra činila 93,75 m²). Tento pozemek se dále členil na dílčích 20 úseků, a v každém jednom úseku bylo vyseto 8 řádků konopí (viz Obrázek 2). Na každý řádek připadlo 2,63 g osiva, tudíž na každý úsek 21 g osiva. Celkem se pracovalo s 0,43 kg osiva a setí probíhalo ručním secím strojem. Předplodinou byl yacon, který je rostlinou plodící hlízy připomínající brambory a je původem z Peru. Odběr vzorků pro měření probíhal v totožných termínech, jako tomu bylo u ozdobnice, a v každém z nich se taktéž náhodně vybraly 3 rostliny. Konopí (viz Obrázek 3), stejně jako ozdobnice, bylo pěstováno přirozeným způsobem bez jakéhokoliv hnojení a zavlažování.



Obrázek 2: Schéma pozemku, na kterém bylo vyseto konopí (odrůda Bialobrezskie)
(zdroj: vlastní)



Obrázek 3: *Cannabis sativa L.* odrůda Bialobrezskie na demonstračním pozemku (foceno 21. 7. 2014 – cca 3- měsíční porost) (foto: vlastní)
(Pole s *M. x giganteus* vyfoceno na **Obrázku 1**)

4.2 Metodika

Celý výzkum a měření probíhalo v laboratoři biopaliv na České zemědělské univerzitě, v budově Fakulty tropického zemědělství. K měření byla především použita tato zařízení: laboratorní sušárna, kalorimetr, muflová pec.

4.2.1 Měření růstových parametrů

Měření růstových parametrů probíhalo u *Miscanthus x giganteus* i *Cannabis sativa L.* v termínech 21. října 2014, 4. listopadu 2014, 20. listopadu 2014 a 11. prosince 2014. Během každého měření byly náhodně vybrány 3 rostliny od obou plodin (označeny K1, K2, K3, respektive O1, O2, O3) z toho důvodu, aby byly eliminovány případné vlivy půdy a povětrnostních podmínek na růst rostlin. U vybraných rostlin byla měřena výška stonků pomocí metru a výsledek byl uváděn v centimetrech. Dále byl měřen průměr stonků rostlin ve 3 bodech (nadzemní část nad kořenem, střední část stonku a v místě pod vegetačním vrcholem) a zprůměrováním těchto tří hodnot vyšla průměrná tloušťka stonku v milimetrech.

4.2.2 Stanovení obsahu vody

Stanovení obsahu vody materiálu proběhlo v souladu s platnou normou ČSN EN 14774-1: Tuhá biopaliva – Stanovení obsahu vody – Metoda sušení v sušárně – Část 1: Celková voda – Referenční metoda (2010). V uvedených 7 termínech byly měřeny vždy 3 vzorky konopí a 3 vzorky ozdobnice, tudíž v každém jednom termínu bylo celkem měřeno 6 vzorků materiálu. Pro každé měření bylo připraveno 6 prázdných čistých kádinek, které byly jednotlivě zváženy na laboratorní digitální váze značky KERN EW 3 000-2M s přesností na 0,01g. Do prázdné kádinky byl vložen vzorek (1 kádinka pro 1 rostlinu), který byl upraven nastříháním na menší části. Poté byla každá nádoba s připraveným vzorkem opět zvážena s přesností na 0,01 g. Takto připravené vzorky se následně vložily do sušárny značky MEMMERT model 100-800 (viz Obrázek 4), která byla již zahřátá na požadovanou teplotu. Sušení vzorků probíhalo za konstantní teploty 105 °C po dobu 6 – 10 hodin (nejvhodnější doba sušení je 8 hodin).

Po dokončení sušení byly kádinky vyjmuty ze sušárny a následně opět zváženy.

Pro výpočet obsahu vody (M_{ar}) byl použit následující vzorec:

$$M_{ar} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \times 100 [\%]$$

kde:

m_1 - hmotnost prázdné nádoby na sušení, v g;

m_2 - hmotnost nádoby na sušení se zkušebním vzorkem před sušením, v g;

m_3 - hmotnost nádoby na sušení se zkušebním vzorkem po sušení, v g;

Výsledek musí být vypočítán na 2 desetinná místa a pro zaznamenání zaokrouhlen s přesností na 0,1%.



Obrázek 4: Sušení vzorků konopí a ozdobnice v sušárně MEMMERT model 100-800 (foto: vlastní)

4.2.3 Stanovení spalného tepla

Spalné teplo bylo určeno podle platné normy ČSN EN 14918: Tuhá biopaliva – Stanovení spalného tepla a výhřevnosti (2010). „Norma popisuje metodu pro stanovení spalného tepla tuhých biopaliv při konstantním objemu a referenční teplotě 25°C v kalorimetru s tlakovou nádobou“ (ČSN EN 14918, 2010). Spalné teplo se stanovilo u obou plodin pro vysušené vzorky. Před začátkem měření bylo důležité daný materiál upravit tak, aby byl homogenní (viz Obrázek 5). Úprava probíhala drcením materiálu za pomoci laboratorního mlýnku. Nadrcený materiál se poté uzavřel do Petriho misek, aby nenatáhl vlhkost z okolního prostředí (viz Obrázek 6 a Obrázek 7). Z upraveného materiálu se vytvořila navážka o hmotnosti 0,8 – 1,0 g, která se vložila do předem zváženého kalorimetrického kelímku. Pomocí spalovacího drátku byl uzavřen elektrický obvod a kelímek s navážkou byl umístěn na kalorimetrickou tlakovou nádobu, která byla uzavřena a naplněna kyslíkem pod tlakem 28 atm. Natlakovaná nádoba se poté opatrně vložila do kalorimetru typu MS – 10 A (viz Obrázek 8), kde docházelo ke spálení vzorků a předávání tepla vodě. Celý proces probíhající v kalorimetru byl ukončen po 8 minutách, kdy se na displeji kalorimetru ukázala hodnota teplotního skoku, která sloužila k výpočtu spalného tepla. Tlaková nádoba byla z kalorimetru vyjmuta, uvolnil se přetlak a proces se mohl dále opakovat u dalšího vzorku. Dle normy spalné teplo měřené v jedné laboratoři, na jednom přístroji a jednou osobou, by se nemělo lišit u dvou vzorků o více než 120 J/g . Pokud se naměřené hodnoty liší o více než 120 J/g, je nezbytné měření opakovat. Spalné teplo bylo měřeno celkem v 8 termínech. Kromě uvedených termínů bylo spalné teplo ještě měřeno v termínu 26. ledna 2015.

Spalné teplo bylo vypočítáno dle vzorce:

$$Q_{gr} = \frac{dT_k * T_k - (c_1 + c_2)}{m} [J/g]$$

kde:

Q_{gr} – spalné teplo [J/g]

dT_k – teplotní skok [°C]

T_k – teplotní kapacita kalorimetru (konstanta) [J/°C]

c_1 – oprava na drátek [J] = 70 J

c_2 – oprava na papírek [J] = 20 J

m – hmotnost vzorku [g]



Obrázek 5: Vzorky ozdobnice a konopí a) (foto: Tatiana Ivanova)



Obrázek 6: Vzorky ozdobnice a konopí b) **Obrázek 7:** Vzorky ozdobnice a konopí c)
(obě fota: Tatiana Ivanova)

Na **Obrázku 5** jsou vyfocené na levé straně Petriho misky s již nadrceným homogenním materiálem a na straně pravé Petriho misky s materiálem připraveným k nadrcení.

Na **Obrázku 6** a **Obrázku 7** je vyfocený materiál, který je připravený pro měření spalného tepla v kalorimetru.



Obrázek 8: Kalorimetr typu MS – 10 A (foto: Michel Kolaříková)

4.2.4 Stanovení obsahu popela

Obsah popele byl stanoven v souladu s platnou normou ČSN EN 14775: Tuhá biopaliva – Stanovení obsahu popela. „Norma je českou verzí evropské normy EN 14775:2009. Popisuje metodu stanovení obsahu popela ve všech tuhých biopalivech. Obsah popela se stanoví výpočtem z hmotnosti zbytku po spálení vzorku na vzduchu při řízené teplotě (550 ± 10) °C, za přesně stanovených podmínek pro dobu zkoušky, hmotnost vzorku a specifikaci zařízení. Mohou se používat také automatická zařízení“ (ČSN EN 14775, 2010). Stanovení obsahu popela probíhalo v muflové peci LAC (viz Obrázek č. 9). Kromě pece bylo zapotřebí kelímků, které jsou z inertního materiálu, jako je například porcelán, a byl do nich vložen zkoumaný materiál (viz Obrázek 10). Kromě uvedených termínů byl obsah popela měřen i v termínu 26. ledna 2015.

Obsah popela v bezvodém stavu se vypočítal pomocí vzorce:

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \times \frac{100}{100 - M_{ad}} [\%]$$

kde:

A_d – obsah popela [%]

m_1 – hmotnost prázdného kelímku, v g;

m_2 – hmotnost kelímku se zkušebním vzorkem, v g;

m_3 – hmotnost kelímku s popelem, v g;

M_{ad} - obsah vody ve zkušebním vzorku, použitým ke stanovení (hmotnostní zlomek v %)

Výsledky musí být stanoveny jako průměr dvou stanovení s přesností na 0,1 %

Tabulka 1: Opakovatelnost a reprodukovatelnost metody při stanovení obsahu popela a uvedení maximálních přijatelných rozdílů mezi výsledky (ČSN EN 14775, 2010)

Tabulka 1 – Opakovatelnost a reprodukovatelnost metody

Obsah popela %	Maximální přijatelné rozdíly mezi výsledky	
	Stejná laboratoř (Opakovatelnost)	Různé laboratoře (Reprodukovatelnost)
Menší než 10 %	0,2 % absolutní	0,3 % absolutní
Roven nebo větší než 10 %	2,0 % průměrného výsledku	3,0 % průměrného výsledku



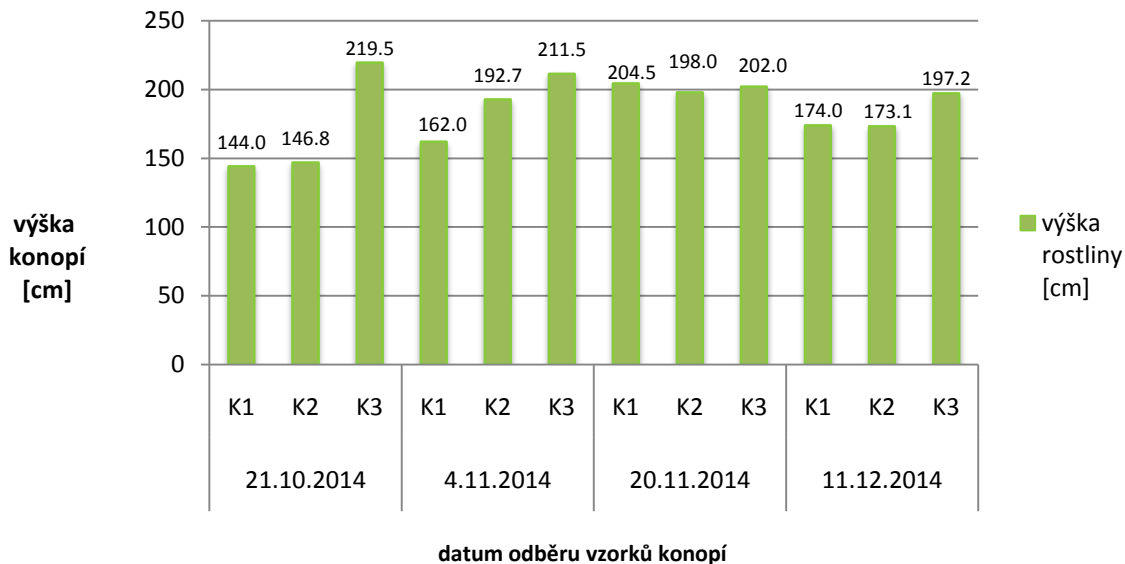
Obrázek 9: Muflová pec LAC
(obě fota: Tatiana Ivanova)



Obrázek 10: Porcelánové kelímky s popelem

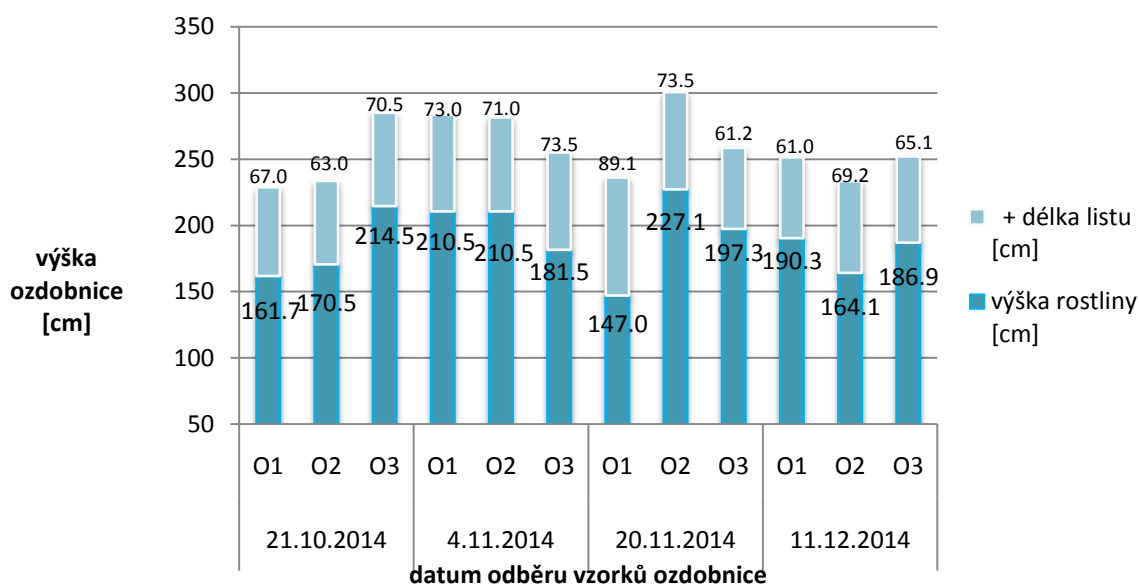
5 Výsledky a diskuze

5.1 Vyhodnocení měření růstových parametrů



Graf 1: Výšky stonků *Cannabis sativa* L. (odrůda Bialobrzeskie) (zdroj: vlastní)

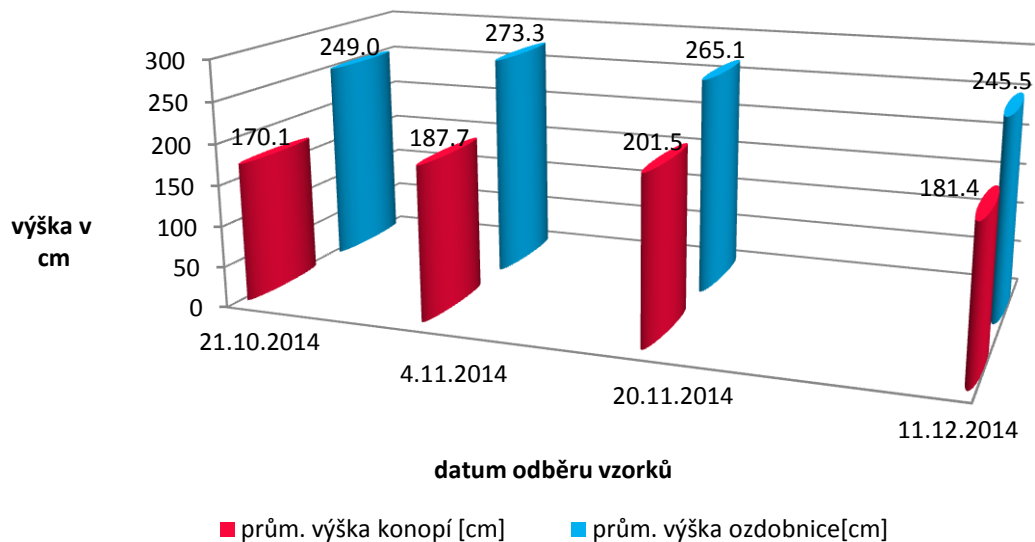
V **Grafu 1** jsou znázorněny výšky stonků konopí měřené v období říjen - prosinec. V každém stanoveném termínu byly odebrány náhodně 3 rostliny, označené jako K1, K2 a K3. Z grafu je zřejmé, že výšky stonků konopí se pohybovaly v rozmezí od 140 do 220 cm.



Graf 2: Výšky stonků *Miscanthus x giganteus* (zdroj: vlastní)

Na **Grafu 2** jsou vyobrazené výšky celých rostlin ozdobnice, které jsou znázorněné pomocí složených sloupců. Jeden úsek sloupce udává výšku stonku, druhá část sloupce zahrnuje délku listu a společně vyjadřují celkový vzrůst rostlin. V každém stanoveném termínu byly odebrány 3 rostliny, jež jsou označené jako O1, O2 a O3. Výšky stonků ozdobnice bez listu se pohybují v rozmezí od 140 cm do 230 cm.

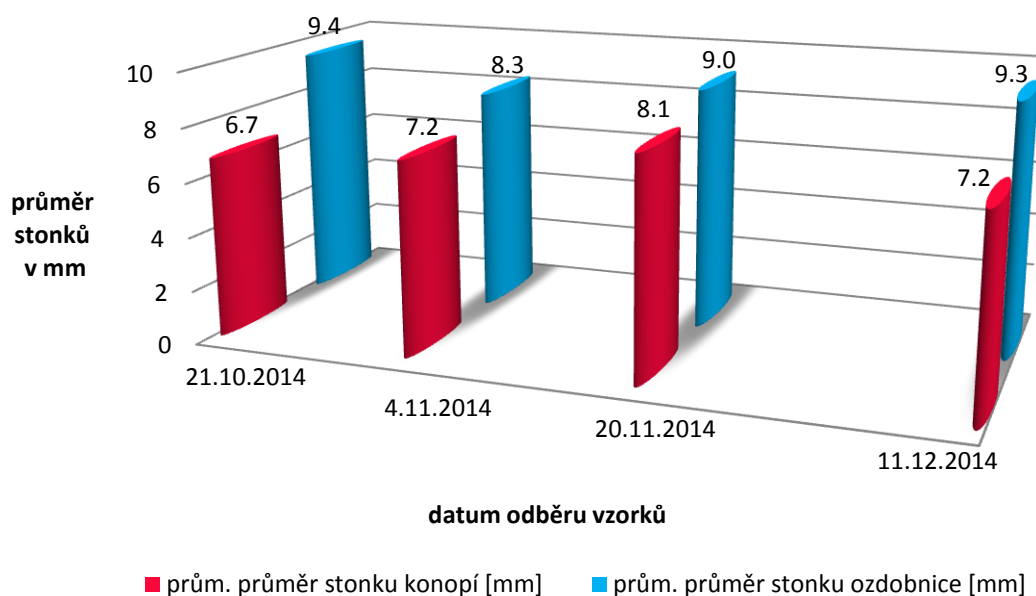
Při srovnání výšek ozdobnice s **Grafem č. 1** je patrné, že výšky ozdobnice a konopí jsou velmi podobné a pohybují se ve stejném rozmezí. Avšak pokud k výšce stonku ozdobnice připočítáme i délku listu (výška rostlin se pohybuje od 230 cm do 320 cm), nabývají výšky stonků ozdobnice zřetelně větších hodnot než u konopí.



Graf 3: Průměrné výšky konopí a ozdobnice

(zdroj: vlastní)

Z **Grafu 3** je patrné, že průměrné výšky ozdobnice jsou vždy vyšší než průměrné výšky konopí. U konopí roste průměrná výška až do konce listopadu, avšak u ozdobnice je tomu tak jen do začátku listopadu. U obou plodin je zřetelný pokles průměrných výšek od prosince, kdy byl růst ukončen.

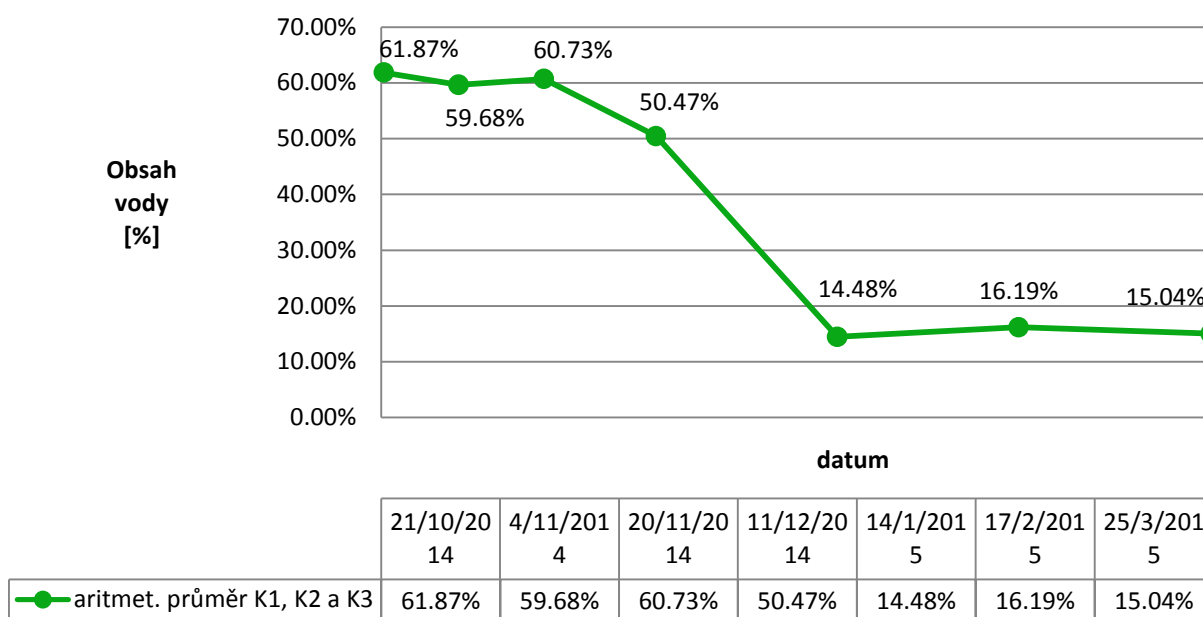


Graf 4: Průměrné průměry stonků konopí a ozdobnice
(zdroj: vlastní)

Na **Grafu 4** jsou znázorněny zprůměrované hodnoty průměrů stonků konopí a ozdobnice. I z tohoto grafu je zřejmé, že průměry stonků ozdobnice jsou větší, tudíž silnější, než je tomu u konopí. Průměrná tloušťka stonků se u ozdobnice pohybuje mezi 8,3 – 9,4 mm a u konopí 6,7 – 8,1 mm.

Konkrétní naměřené hodnoty výšek a průměrů stonků ozdobnice a konopí jsou uvedené v příloze, viz Tabulka I a Tabulka II.

5.2 Vyhodnocení stanovení obsahu vody



Graf 5: Obsah vody v *Cannabis sativa L.* v období od 21. října 2014 do 25. března 2015 (zdroj: vlastní)

Na **Grafu 5** je znázorněná křivka změny poklesu obsahu vody u plodiny *Cannabis sativa L.* (odrůda Bialobrzeskie) v období od 21. října 2014 do 25. března 2015. Z grafu je zřetelně vidět, že křivka má klesající charakter, což znamená snižující se obsah vody v rostlinách od podzimu 2014 do jara 2015. Na začátku měření se obsah vody v rostlinách pohyboval okolo 62 % a pozvolně se začal snižovat až od 4. listopadu 2014. V polovině prosince se obsah vody v rostlinách stále pohyboval okolo 50 %. V období prosinec – leden je zaznamenán nejrazantnější pokles obsahu vody u konopí a to až na necelých 15 %. Od ledna až do konce měření se obsah vody v konopí pohyboval od 14 do 17 %. Dle výsledků je podzimní sklizeň konopí z hlediska vysokého obsahu vody nevhodná a sklizená biomasa by se musela dále dosušovat. Již v lednu při obsahu vody okolo 14 % by bylo možné konopí sklízet, a tudíž je jarní sklizeň vhodnější.

Stražil (2000) a Kolektiv autorů (2006) uvádějí, že při sklizení technického konopí, které se provádí upravenou sklízecí řezačkou, dochází k odřezávání a zároveň prořezávání stonků patentovým způsobem na délku 50 – 60 cm. Takto nařezané stonky jsou odkládány do

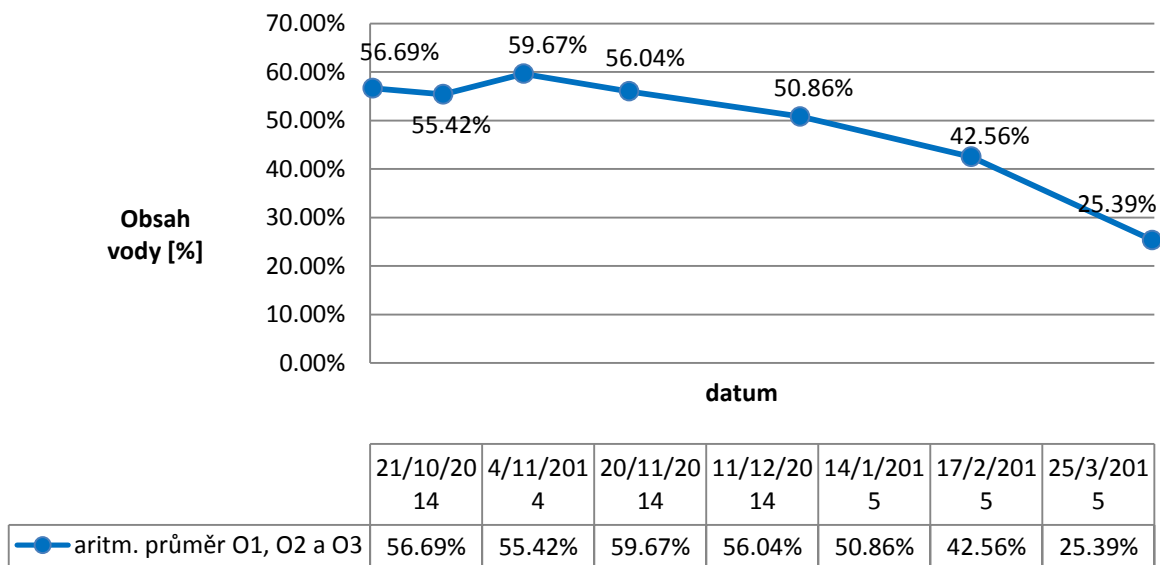
řádků, kde se po 3 dnech po dobu 14 dní obrací obracečem. Poté u stonků dochází k poklesu obsahu vody na **20 %**.

Hodnotu obsahu vody v konopí pohybující se okolo 20 %, uvádí i Plíštil (2004). Hodnota vlhkosti fytomasy, jež činí 20%, je mezní hodnotou pro výrobu briket z konopí. Z hlediska mechanických vlastností briket nemůže dojít k lisování, pokud obsah vody ve fytomase je větší než 20 %.

Optimální vlhkost v rostlinné biomase, která je určená pro spalování, by měla být v rozmezí od **10 – 15 %** (Chen et al., 2009).

Prade et al. (2012) ve své studii uvádí, že biomasa technického konopí, jež byla pěstována za účelem výroby tuhých biopaliv a bioplynu, obsahovala v období sklizně od září až do října **65 %** vody, zatímco v období sklizně od února do dubna byl obsah vody v biomase **15 %**.

V uvedených literárních zdrojích se hodnoty obsahu vody od výsledků této bakalářské práce významně neliší a dá se říct, že se shodují.



Graf 6: Obsah vody v *Miscanthus x giganteus* v období od 21. října 2014 do 25. března 2015 (zdroj: vlastní)

V **Grafu 6** je vyobrazena křivka změny v poklesu obsahu vody u plodiny *Miscanthus x giganteus* v období od 21. října 2014 do 25. března 2015. Křivka má sestupný charakter,

avšak mnohem pozvolnější než u technického konopí. Na počátku měření se obsah vody v ozdobnici pohyboval okolo 57 %. Na konci listopadu došlo k menšímu zvýšení obsahu vody, který se nabýval hodnot okolo 60 %. Až v polovině prosince začalo postupné klesání. Nejrazantnější pokles nastal až na konci měření, které proběhlo 25. března 2015, a průměrný obsah vody v rostlinách byl 25 %.

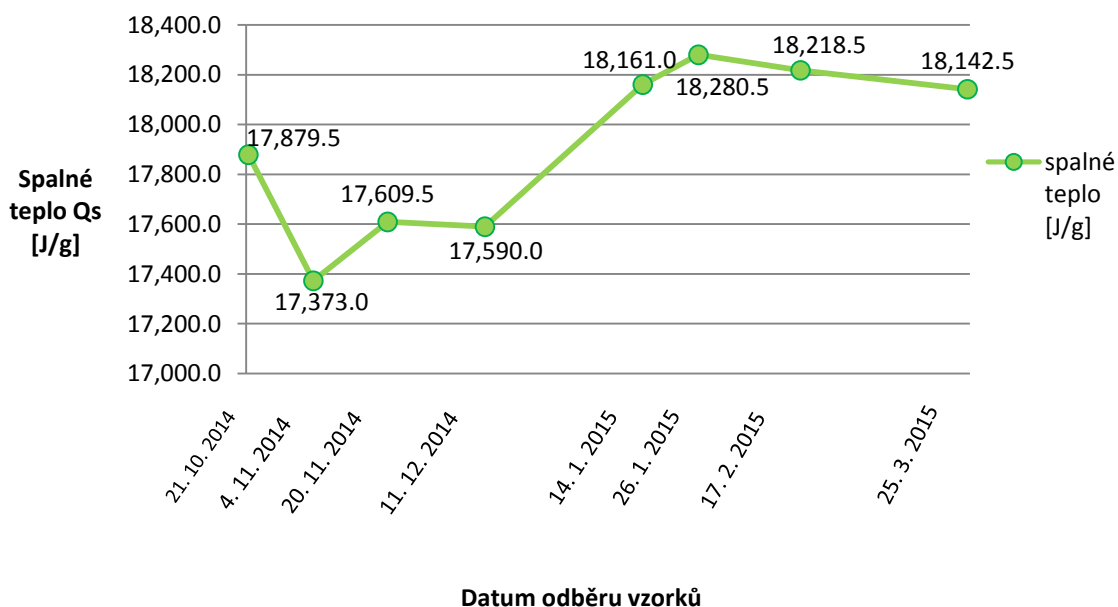
Jedním z důvodů, proč je obsah vody v ozdobnici vyšší, může být ten fakt, že tato odrůda má silnější a stabilnější stonky, tudíž obsah vody je v rostlině ponechán déle. Když porovnáme ozdobnici s konopím, tak konopí má znatelně tenčí a lehčí stonky a dosahovalo odlišných růstových parametrů. Z těchto důvodů je vhodné ponechat ozdobnici na pozemku cca o měsíc déle (do dubna) a až tehdy uskutečnit sklizeň.

Lyčka (2011) uvádí jako vhodnou hodnotu obsahu vody **15 %**, protože při této vlhkosti se dá ozdobnice využít pro peletování a není zapotřebí dalšího energeticky náročného dosušování.

Dle Kolektivu autorů (2006) při sklizních probíhajících po zimě (únor, březen) má sklizená fytomasa ozdobnice vlhkost kolem **22 – 38 %**.

Konkrétní naměřené hodnoty obsahů vody v konopí a v ozdobnici jsou uvedené v příloze, viz Tabulka *III* a Tabulka *IV*. Grafy s jednotlivými nezprůměrovanými hodnotami jsou uvedené rovněž v příloze, viz Graf *I* a Graf *II*.

5.3 Vyhodnocení stanovení spalného tepla



Graf 7: Spalné teplo u *Cannabis sativa* L. (zdroj: vlastní)

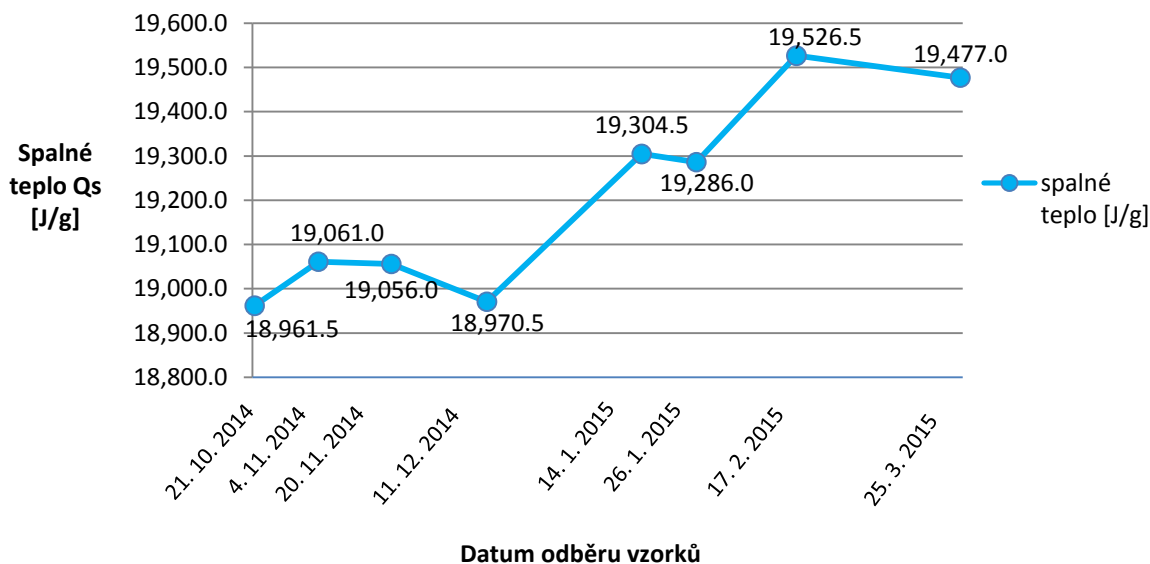
Na **Grafu 7** je zobrazena křivka udávající spalné teplo u technického konopí v období od 21. října 2014 do 25. března 2015. Každý bod v grafu je získán zprůměrováním dvou nebo tří hodnot, mezi kterými nebyl větší rozdíl než 120 J/g. Celkově má křivka stoupající vývoj, což značí zvýšení spalného tepla u konopí během zkoumaného období. Od listopadu se spalné teplo pozvolně navyšuje. Největšího vzrůstu dosáhlo spalné teplo na rozmezí roku 2014 a 2015.

Prade et al. (2011) ve studii uvádí zkoumané hodnoty spalného tepla u technického konopí. V červenci roku 2007 na počátku měření spalné teplo technického konopí činilo 17,5 MJ/kg a mělo vzrůstající charakter. V období od srpna do prosince 2007 se spalné teplo pohybovalo okolo 18,4 MJ/kg. Během období od ledna do dubna 2008 hodnoty spalného tepla dosahovaly 19,1 MJ/kg.

Dle Honzíka (2004) spalné teplo stonků konopí setého činí 18,1 MJ/kg.

Pro srovnání s konopím, spalné teplo hnědého uhlí činí 19 – 21 MJ/kg a spalné teplo šťovíku se pohybuje okolo 14 MJ/kg (Fuksa, 2009).

V porovnání s literárními zdroji se výsledky této bakalářské práce pohybují okolo velmi podobných hodnot.



Graf 8: Spalné teplo u *Miscanthus x giganteus* (zdroj: vlastní)

V **Grafu 8** je vyobrazena křivka udávající spalné teplo u plodiny *Miscanthus x giganteus* v období od 21. října 2014 do 25. března 2015. Každý bod grafu je získán zprůměrováním dvou nebo tří hodnot, stejně jako tomu bylo u technického konopí. Křivka spalného tepla má vzrůstající charakter. Od počátku měření do poloviny prosince jsou hodnoty velmi podobné a nejsou patrné žádné výkyvy. V lednu spalné teplo výrazně stoupá a je tomu tak i během února.

Kolektiv autorů (2006) a Stražil (2009) uvádějí, že spalné teplo celých rostlin ozdobnice je okolo 19 GJ/t sušiny.

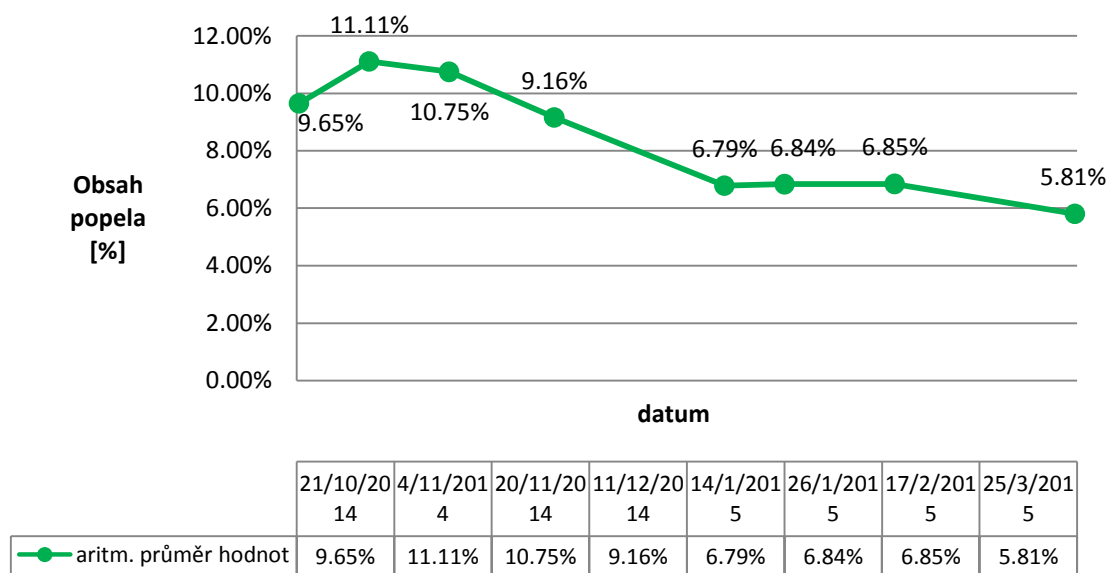
Frydrych et al. (2012) popisuje velmi podobné údaje a to takové, že spalné teplo ozdobnice je 19,7 MJ/kg. Zmiňuje další plodiny jako například kostřavu rákosovitou (18,85 MJ/kg), proso seté (19,2 MJ/kg) nebo lesknici kanárskou (17,98 MJ/kg). V porovnání s těmito plodinami si ozdobnice se svým spalným teplem stojí na velmi dobré úrovni.

Cejlak (2010) uvádí spalné teplo různých druhů dřevin v rozsahu 14,7 až 21,1 MJ/kg. Například spalné teplo topolu se pohybuje okolo 19,5 MJ/kg (čistě dřevní hmoty), anebo 20,2 MJ/kg (dřevní hmota s přirozeným obsahem kůry).

Výsledky této bakalářské práce se ztotožňují s údaji v uvedených literárních zdrojích. V porovnání s technickým konopím ozdobnice dosahuje o něco vyšších hodnot spalného tepla.

Konkrétní naměřené hodnoty spalného tepla ozdobnice a konopí jsou uvedeny v příloze, viz Tabulka V a Tabulka VI.

5.4 Vyhodnocení stanovení obsahu popela



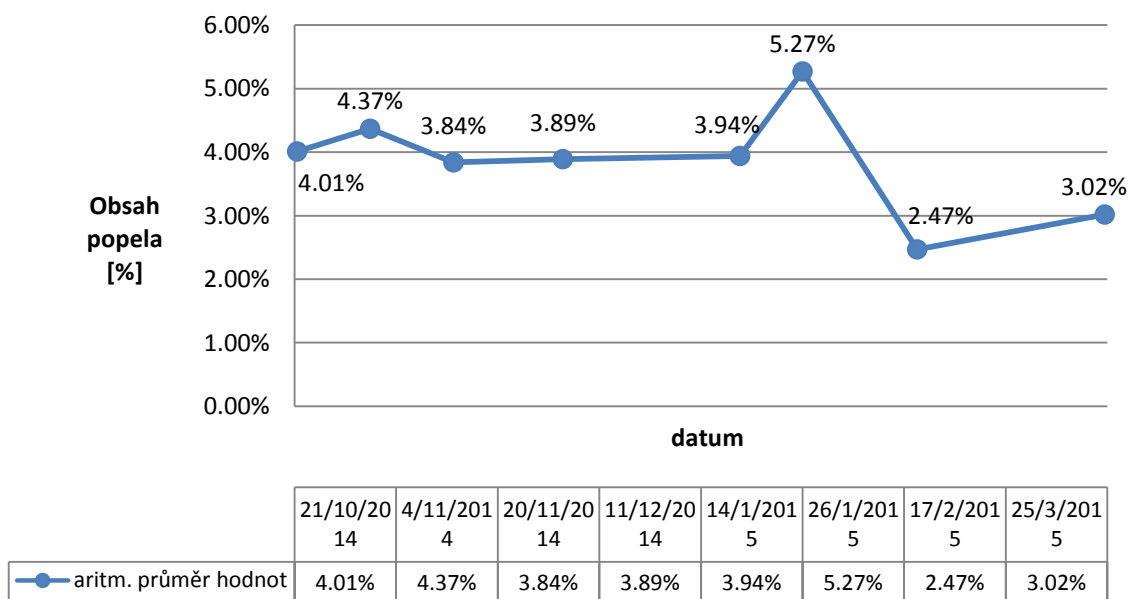
Graf 9: Obsah popela u *Cannabis sativa L.* (zdroj: vlastní)

V **Grafu 9** je znázorněna křivka ukazující vývoj obsahu popela u technického konopí v období od 21. října 2014 do 25. března 2015. Každý bod grafu je získán zprůměrováním dvou nebo tří hodnot. Křivka má klesající charakter, což značí, že obsah popela se během měřeného období snižoval. Na konci měření 25. března 2015 bylo dosaženo průměrné hodnoty obsahu popela 5,81 %.

Prade et al. (2012) uvádí ve své studii, jejíž výzkum probíhal v letech 2007 – 2008 ve Švédsku, hodnotu obsahu popela u *Cannabis sativa L.* na přelomu října a listopadu $3,7 \pm 0,6$ % a v období od února do dubna $1,8 \pm 0,4$ %. Přestože jsou výsledky uvedené studie

rozdílné a dosahují nižších hodnot obsahu popela než v této bakalářské práci, průběh vývoje obsahu popela je klesající v obou případech.

Podle Ochečové (2015) se množství popela v palivech z biomasy pohybuje v rozmezí od 1 do 6 %. U dřeva obsah popela dosahuje většinou nižších hodnot okolo 0,3 – 1 %, zatímco v kůře se množství popela odhaduje na 3 – 4 %. Ve slámě a travinách obsah popela činí 5 – 7 %. U černého uhlí je množství popela v rozmezí od 10 – 13 %.



Graf 10: Obsah popela u *Miscanthus x giganteus* (zdroj vlastní)

V **Grafu 10** je vyobrazená křivka značící vývoj obsahu popela u ozdobnice v období od 21. října 2014 do 25. března 2015. Křivka má nepatrně klesající charakter v porovnání s konopím. Na konci ledna došlo k velkému výkyvu obsahu popela. Tato hodnota byla nejvyšší ze všech ostatních naměřených hodnot (5,3 %). Na konci měření 25. března 2015 bylo dosaženo průměrné hodnoty obsahu popela 3,02 %.

Podle Kolektivu autorů (2006) je obsah popela u ozdobnice udáván v rozmezí 2 – 3 %, což je hodnota shodující se s výsledky této bakalářské práce.

V porovnání s konopím, ozdobnice dosahuje nižších hodnot množství popela.

Konkrétní naměřené hodnoty jsou v příloze, viz Tabulka VII a Tabulka VIII.

6 Závěr

Cannabis sativa L. a *Miscanthus x giganteus* jsou v současné době plodiny, které jsou pěstovány v celosvětovém měřítku. Během desítek let se ukázal jejich potenciál k tomu, aby mohly být využívány jako energetické plodiny pro výrobu tuhých, kapalných či plyných biopaliv. Stále častěji jsou publikovány vědecké studie o těchto plodinách, které se jimi zabývají z energetického hlediska. Není proto pochyb, že jsou velmi vhodnou alternativou k tomu, aby mohly v budoucnu společně s dalšími energetickými plodinami aspoň částečně nahradit fosilní paliva.

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo zkoumání změn základních parametrů vybraných energetických plodin v závislosti na průběhu vegetačního období. Z výsledků je patrné, že u obou plodin v období od října 2014 do března 2015 došlo ke změnám ve všech zkoumaných parametrech. Z hlediska růstu jsou mezi ozdobnicí a konopím viditelné rozdíly v tom, že ozdobnice dosahuje během celého sledovaného období vyššího vzrůstu. Obsah vody v ozdobnici a v konopí na počátku měření v říjnu 2014 nabýval vysokých hodnot (ozdobnice 56,69 %, konopí 61,87 %). Během sledovaného období měl obsah vody klesající průběh a na konci měření v březnu 2015 bylo dosaženo nejnižších hodnot (25,39 % pro ozdobnici a 15,04 % pro konopí). Z toho vyplývá, že **Hypotéza 1: Obsah vody v průběhu vegetačního období u konopí a ozdobnice klesá**, byla potvrzená.

Spalné teplo vysušených vzorků, které byly odebrány v říjnu 2014, dosahovalo hodnoty 18 961,5 J/g u ozdobnice a 17 879,5 J/g u konopí. Spalné teplo v sušině v březnu 2015 činilo u ozdobnice 19 477 J/g a u konopí 18 142,5 J/g. U obou plodin byl zaznamenán růst spalného tepla během vegetačního období, tudíž **Hypotéza 2: V průběhu vegetačního období spalné teplo stoupá**, byla také potvrzená.

Z výsledků je znatelné, že během vegetačního období se množství popela u obou plodin snižovalo (říjen 2014: ozdobnice 4,01 % a konopí 9,65 %; březen 2015: ozdobnice 3,02 % a konopí 5,81 %). **Hypotéza 3: Obsah popela se během průběhu vegetačního období nemění**, byla vyvrácená.

Dle výsledků této bakalářské práce a informací uvedených v literárních zdrojích, je doporučený a vhodnější termín sklizně energetických plodin na jaře.

7 Reference

Arnoult S, Obeuf A, Béthencourt L, Mansard MCh, Brancourt-Hulmel M. 2015. *Miscanthus* clones for cellulosic bioethanol production: Relationships between biomass production, biomass production components, and biomass chemici composition. *Industrial Crops and Products* 63: 316-328.

Baxter XC, Darvell LI, Jones JM, Barraclough T, Yates NE, Shield I. 2012. Study of *Miscanthus x giganteus* ash composition – Variation with agronomy and assessment method. *Fuel* 95: 50-62.

Beranovský J, Kašparová M, Macholda F, Srdečný K, Truxa J. 2007. *Energie Biomasy*. Available at <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-biomasy>: Accessed 2015-03-15.

Cejlak I. 2008. Biomasa je nezbytná součást lidského života. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-je-nezbytna-soucast-lidskeho-zivota>: Accessed 2015-04-13.

Cejlak I. 2010. Pěstování topolů pro energetické účely – 3. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/pestovani-topolu-pro-energeticke-ucely-3>: Accessed 2015-04-16.

CZ Biom. 2015. Podpora obnovitelných zdrojů v novém programovém období Evropské unie 2014 – 2020. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/podpora-obnovitelných-zdroju-v-novem-programovem-obdobi-evropske-unie-2014-2020>: Accessed 2015-02-22.

ČSN EN 14774-1. 2010. Tuhá biopaliva – Stanovení obsahu vody – Metoda sušení v sušárně – Část 1: Celková voda – Referenční metoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 12p

ČSN EN 14775. 2010. Tuhá biopaliva- Stanovení obsahu popela. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 12p.

ČSN EN 14918. 2010. Tuhá biopaliva – Stanovení spalného tepla a výhřevnosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 52p.

Frydrych J. 2007. Využití travní biomasy pro energetické účely. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz-bioplyn/odborne-clanky/vyuziti-travni-biomasy-pro-energeticke-ucely>: Accessed 2015-04-01.

Frydrych J, Ander D, Juchelková D. 2012. Výzkum využití trav pro energetické účely. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz-obnovitelne-zdroje-energie/odborne-clanky/vyzkum-vyuziti-trav-pro-energeticke-ucely>: Accessed 2015-04-16.

Hayes DJM. 2013. Mass and compositional changes, relevant to biorefining, in *Miscanthus x giganteus* plants over the harvest window. Limerick: Department of Chemical and Environmental Sciences, University of Limerick. p591-602. Available at: <http://www.sciencedirect.com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S0960852413007323>: Accessed 2015-04-10.

Holub P. 2007. *Miscanthus* - energetická rostlina budoucnosti ?. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/miscanthus-energeticka-rostlina-budoucnosti>: Accessed 2015-03-25.

Honus S, Juchelkova D, Campen A, Wiltowski T. 2013. Gaseous components from pyrolysis- Characteristics, production and potential for energy utilization. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 106: 1-8.

Honzík R. 2004. Konopí seté nejen alternativní energetická plodina. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/konopi-sete-nejen-alternativni-energeticka-plodina>: Accessed 2015-04-16.

Chen L, Xing L, Han L. 2009. Renewable energy from agro-residues in China: Solid biofuels and biomass briquetting technology. *Renewable and sustainable energy reviews* 13: 2689–2695.

INFORSE. 2012. *Biomasa*. Available at <http://www.inforse.dk/europe/fae/OEZ/biomasa/biomasa.html>

Iqbal Y, Lewandowski I. 2014. Inter-annual variation in biomass combustion quality trans over five years in fifteen *Miscanthus* genotypes in south Germany. *Fuel Processing Technology* 121: 47-55.

Ivanova T. 2012. Research of Energy Plants Processing to Solid Biofuels [Dissertation thesis]. Praha: Czech university of life sciences Prague. 142p.

Jakubes J. 2010. Spoluspalování biomasy s fosilními palivy od výzkumu k praktickému využití. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/spoluspalovani-biomasy-s-fosilnimi-palivy-od-vyzkumu-k-praktickemu-vyuziti>: Accessed 2015-04-04.

Jezowski S, Glowacka K, Kaczmarek Z. 2011. Variation on biomass yield and morphological trans of energy grasses from the genus *Miscanthus* during the first years of crop establishment. *Biomass and Bioenergy* 35: 814-821.

Jørgensen U. 2010. Benefits versus risks of growing biofuel crops: the case of *Miscanthus*. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 3: 24-30.

Kolektiv autorů. 2006. Energetické plodiny – 1. vydání. Praha: Profi Press, s. r. o. 127 p.

Kolektiv autorů. CZ Biom. 2011. Ozdobnice čínská: CZ Biom. Available at: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/ozdobnice-cinska>: Accessed 2015-02-22.

Kotlánová A. 2010b. Metody zkoušení fyzikálně-chemických vlastností tuhých biopaliv. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/metody-zkouseni-fyzikalne-chemickych-vlastnosti-tuhych-biopaliv>: Accessed 2015-03-28.

Kovářová M, Abraham Z, Jevič P, Šedivá Z, Kocánová V. 2002. Pěstování a využití energetických a průmyslových plodin. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/pestovani-a-vyuziti-energetickych-a-prumyslovych-plodin>: Accessed 2014-12-13.

Larsen S.U, Jørgensen U, Kjeldsen J.B, Learke P.E. 2013. Long- term *Miscanthus* yields influenced by location, genotype, row distance, fertilization and harvest season. *Bioenergy Research* 2013: 1-16.

Lewandowski I, Clifton-Brown J.C, Scurlock J.M.O, Huisman W. 2000. *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. *Biomass and Bioenergy* 19: 209-227.

Lewandowski I, Heinz A. 2003. *European Journal of Agronomy*: Delayed harvest of *Miscanthus* – influences on biomass quantity and quality and environmental impacts of energy production. Institute for Crop Production and Grassland Research, University of Hohenheim. Stuttgart. p45-63. Available at: <http://www.sciencedirect.com/infodroje.czu.cz/science/article/pii/S1161030102000187>: Accessed 2015-03-15.

Lyčka Z. 2011. Energetická náročnost výroby pelet z biomasy. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/energeticka-narocnost-vyroby-pelet-z-biomasy>: Accessed 2015-04-16.

Meehan P.G, Finnan J.M, Donnell K.P.M. 2012. An assessment of the effect of harvest time and harvest method on biomass loss for *Miscanthus x giganteus*. *GCB Bioenergy* 5: 400-407.

Meehan P.G, Finnan J.M, Donnell K.P.M. 2013. The effect of harvest date and harvest method on combustion characteristics of *Miscanthus x giganteus*. *GCB Bioenergy* 5: 487-498.

Mimmo T, Panzacchi P, Baratieri M, Davies C.A, Tonon G. 2014. Effect of pyrolysis temperature on *Miscanthus (Miscanthus x giganteus)* biomass physical, chemical and functional properties. *Biomass and Bioenergy* 62: 149-157.

O'Flynn MG, Finnan JM, Curley EM, McDonnell KP. 2015. Annually repeated traffic in delayed *Miscanthus x giganteus* harvests; effects on crop response and mitigation measures. *Soil and Tillage Research* 148: 133 – 141.

Ochecová P. 2015. Popel z biomasy – významný zdroj živin. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/popel-z-biomasy-vyznamny-zdroj-zivin>: Accessed 2015-04-16.

Petříková V. 2005. Energetická biomasa z polních kultur. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/energeticka-biomasa-z-polnich-kultur>: Accessed 2014-12-16.

Petříková V. 2006. *Energetické plodiny*. 1. vydání. Praha: Profi Press, 127 p.

Petříková V. 2009. Význam cíleně pěstovaných energetických plodin. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyznam-cilene-pestovanych-energetickych-plodin>: Accessed 2015-04-15.

Petříková V. 2011. Biomasa z energetických plodin. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-z-energetickych-rostlin>: Accessed 2014-12-13.

Pohořelý M, Jeremiáš M. 2010. Zplynování biomasy – možnosti uplatnění. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zplynovani-biomasy-moznosti-uplatneni>: Accessed 2015-04-04.

Prade T, Finnell M, Svensson SE, Mattsson JE. 2012. Effect of harvest date on combustion related fuel properties of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.). *Fuel* 102: 592-604.

Prade T, Svensson SE, Andersson A, Mattsson JE. 2011. Biomass and energy yield of industrial hemp for biogas and solid fuel. *Biomass and Bioenergy* 35(7): 3040-3049.

Prade T, Svensson SE, Andersson A, Mattsson JE. 2012. Energy balances for biogas and solid biofuel production from industrial hemp. *Biomass and Bioenergy* 14: 36-52.

Pulkrábek J, Urban J. 2011. Energetické využití rostlinné biomasy. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/energeticke-vyuziti-rostlinne-biomasy>: Accessed 2015-04-16.

Sovák L, Stupavský V. 2009. Využití energetické plodiny *Miscanthus Giganteus* je rentabilní. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-energeticke-plodiny-miscanthus-giganteus-je-rentabilni>: Accessed 2015-04-12.

Stražil Z, Moudrý J. 2011. Porovnání chrastice rákosovité (*Phalarisa rundinacea* L.) a ozdobnice (*Miscanthus*) z produkčního hlediska. Průhonice: Acta Pruhoniciana. 97p.

Stražil Z, Šimon J. 2009. Stav a možnosti využití rostlinné biomasy v energetice. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/stav-a-moznosti-vyuziti-rostlinne-biomasy-v-energetice-cr>. Accessed 2014-2.1.

Stražil Z. 2005. Energetické rostliny. Technologie pro pěstování a využití. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky v Praze.

Stražil Z. 2009. Základy pěstování a možnosti využití ozdobnice (*Miscanthus*): Metodika pro praxi. Praha: VÚRV.48p.

Šedivý P. 2008. Pěstování energetických plodin na devastovaných půdách. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/pestovani-energetickych-plodin-na-devastovanych-pudach>: Accessed 2015-02-22.

Šíroká M. 2009. Konopí seté – energetická plodina třetí tisíciletí. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/konopi-sete-energiticka-a-prumyslova-plodina-trethotiscileti>: Accessed 2015-04-16.

Usták S. 2006. Netradiční energetické rostliny perspektivní pro pěstování v podmínkách mírného klimatického pásma. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/netradicni-energeticke-rostliny-perspektivni-pro-pestovani-v-podminkach-mirneho-klimatickeho-pasma>: Accessed 2015-02-22.

Valíček P. a kolektiv. 2002. Užité rostliny tropů a subtropů. Praha: Academia. 486p.

Voláková P. 2010. Biomasový popel – prvkové složení a možnosti jeho využití. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasovy-popel-prvkove-slozeni-a-moznosti-jeho-vyuziti>: Accessed 2015-04-16.

Weger J, Havlíčková K. 2002. Zásady a pravidla pěstování rychle rostoucích dřevin. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zasady-a-pravidla-pestovani-rychle-rostoucich-drevin-r-r-d-ve-velmi-kratkem-obmyti>: Accessed 2014-12-19.

Weger J. 2009. Biomasa jako zdroj energie. *Biom.cz*. Available at <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-jako-zdroj-energie>: Accessed 2014-12-12.

Přílohy

Seznam příloh

Tabulka I: Naměřené hodnoty výšek a průměrů stonků *Cannabis sativa L.*

Tabulka II: Naměřené hodnoty výšek a průměrů stonků *Miscanthus x giganteus*

Tabulka III: Naměřené hodnoty pro výpočet obsahu vody u *Cannabis sativa L.*

Tabulka IV: Naměřené hodnoty pro výpočet obsahu vody u *Miscanthus x giganteus*

Tabulka V: Naměřené hodnoty pro výpočet spalného tepla u *Cannabis sativa L.*

Tabulka VI: Naměřené hodnoty pro výpočet spalného tepla u *Miscanthus x giganteus*

Tabulka VII: Naměřené hodnoty pro výpočet obsahu popela u *Cannabis sativa L.*

Tabulka VIII: Naměřené hodnoty pro výpočet obsahu popela u *Miscanthus x giganteus*

Graf I: Obsah vody v *Cannabis sativa L.* (nezprůměrované hodnoty)

Graf II: Obsah vody v *Miscanthus x giganteus* (nezprůměrované hodnoty)

Tabulka I: Naměřené hodnoty výšek a průměrů stonků *Cannabis sativa L.*

datum odběru	vzorek	Výška rostliny [cm]	průměr stonku [mm]	průměr výšek [cm]	prům. průměry [mm]
21.10.2014	K ₁	144,0	6,0	170,1	6,7
	K ₂	146,8	6,0		
	K ₃	219,5	8,0		
4.11.2014	K ₁	162,0	6,0	187,7	7,2
	K ₂	192,7	7,4		
	K ₃	211,5	8,1		
20.11. 2014	K ₁	204,5	8,4	201,5	8,1
	K ₂	198,0	7,5		
	K ₃	202,0	8,3		
11.12.2014	K ₁	174,0	6,0	181,4	7,2
	K ₂	173,1	7,6		
	K ₃	197,2	7,9		

Tabulka II: Naměřené hodnoty výšek a průměrů stonků *Miscanthus x giganteus*

datum odběru	vzorek	Výška rostliny [cm]	+ délka listu [cm]	Průměr stonku [mm]	průměr. výška [cm]	prům. délka listu [cm]	prům. průměry [mm]
21. 10.2014	O ₁	161,7	67,0	8,5	182,2	66,8	9,4
	O ₂	170,5	63,0	9,3			
	O ₃	214,5	70,5	10,3			
4.11.2014	O ₁	210,5	73,0	8,3	200,8	72,5	8,3
	O ₂	210,5	71,0	7,0			
	O ₃	181,5	73,5	9,7			
20.11.2014	O ₁	147,0	89,1	10,8	190,5	74,6	9,0
	O ₂	227,1	73,5	8,4			
	O ₃	197,3	61,2	7,7			
11.12.2014	O ₁	190,3	61,0	9,4	180,4	65,1	9,3
	O ₂	164,1	69,2	8,9			
	O ₃	186,9	65,1	9,7			

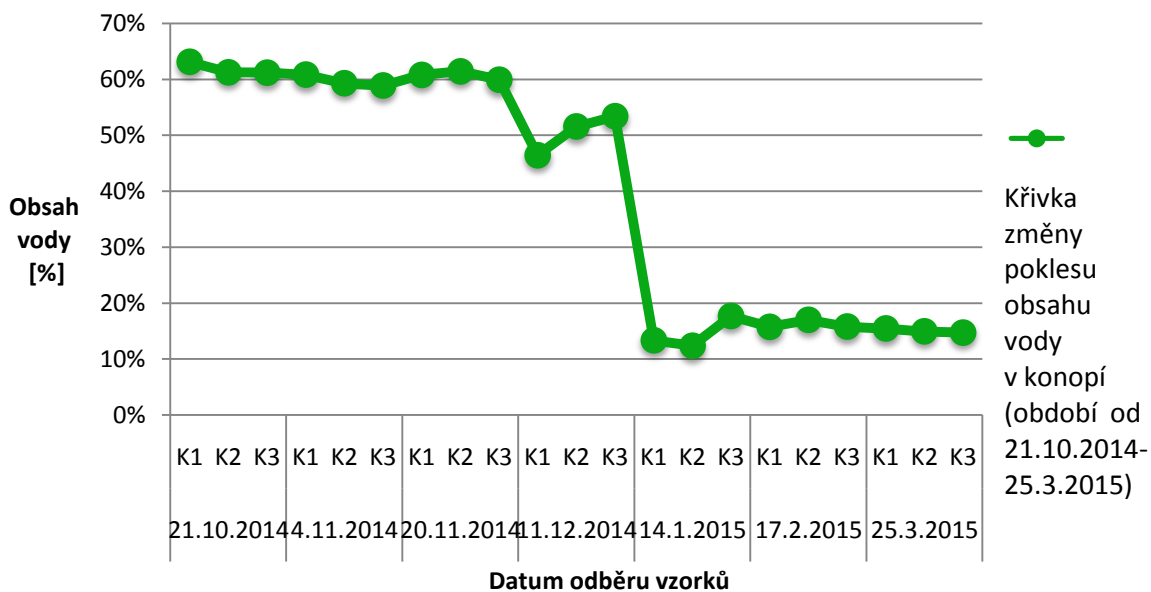
Tabulka III: Naměřené hodnoty pro výpočet obsahů vody u *Cannabis sativa* L.

datum	21.10.2014			4.11.2014			20.11.2014		
vzorek	K ₁	K ₂	K ₃	K ₁	K ₂	K ₃	K ₁	K ₂	K ₃
m ₁ [g]	124,60	126,46	190,41	124,66	126,49	190,48	124,64	126,49	190,47
m ₂ [g]	161,36	172,89	302,32	170,06	186,20	268,32	205,68	189,14	274,29
m ₃ [g]	138,16	144,44	233,82	142,44	150,80	222,47	156,41	150,64	224,04
M _{ar} [%]	63,13%	61,28%	61,21%	60,84%	59,30%	58,90%	60,80%	61,45%	59,95%
datum	11.12.2014			14.1.2015			17.2.2015		
vzorek	K ₁	K ₂	K ₃	K ₁	K ₂	K ₃	K ₁	K ₂	K ₃
m ₁ [g]	124,60	126,49	190,47	124,63	126,48	190,46	124,71	126,58	190,59
m ₂ [g]	162,59	171,41	243,98	158,63	158,11	228,27	147,27	152,42	216,21
m ₃ [g]	144,94	148,25	215,4	154,09	154,19	221,58	143,71	148,03	212,16
M _{ar} [%]	46,46%	51,56%	53,40%	13,35%	12,39%	17,69%	15,78%	16,99%	15,81%
datum	25.3.2015								
vzorek	K ₁	K ₂	K ₃						
m ₁ [g]	124,66	188,39	190,48						
m ₂ [g]	152,63	218,27	216,81						
m ₃ [g]	148,31	213,81	212,93						
M _{ar} [%]	15,45%	14,93%	14,74%						

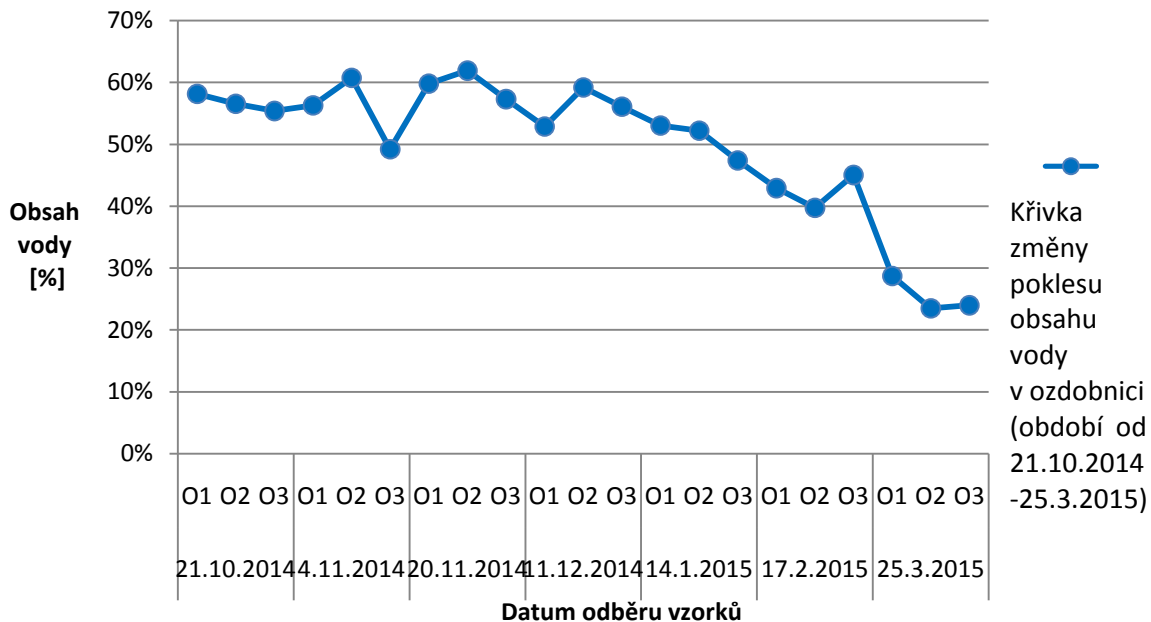
Tabulka IV: Naměřené hodnoty pro výpočet obsahů vody u *Miscanthus x giganteus*

datum	21.10.2014			4.11.2014			20.11.2014		
vzorek	O ₁	O ₂	O ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₁	O ₂	O ₃
m ₁ [g]	222,44	178,80	177,79	222,51	178,84	177,84	222,50	178,83	177,83
m ₂ [g]	312,47	286,56	321,30	348,40	255,08	296,16	377,09	284,82	275,68
m ₃ [g]	260,12	225,62	241,83	277,52	208,77	237,94	284,65	219,20	219,69
M _{ar} [%]	58,15%	56,55%	55,38%	56,30%	60,74%	49,21%	59,80%	61,90%	57,30%
datum	11.12.2014			14.1.2015			17.2.2015		
vzorek	O ₁	O ₂	O ₃	O ₁	O ₂	O ₃	O ₁	O ₂	O ₃
m ₁ [g]	222,50	178,83	177,83	222,53	178,93	177,92	222,52	178,88	177,86
m ₂ [g]	309,59	265,70	267,99	311,48	268,39	238,69	328,00	246,68	270,71
m ₃ [g]	263,54	214,29	217,44	264,31	221,71	209,90	282,74	219,75	228,89
M _{ar} [%]	52,87%	59,18%	56,07%	53,03%	52,18%	47,38%	42,91%	39,72%	45,04%
datum	25.3.2015								
vzorek	O ₁	O ₂	O ₃						
m ₁ [g]	222,51	178,86	177,86						
m ₂ [g]	284,88	234,23	235,96						
m ₃ [g]	266,97	221,23	222,03						
M _{ar} [%]	28,72%	23,48%	23,98%						

Graf I: Obsah vody v *Cannabis sativa* L. (nezprůměrované hodnoty)



Graf II: Obsah vody v *Miscanthus x giganteus* (nezprůměrované hodnoty)



Tabulka V: Naměřené hodnoty pro výpočet spalného tepla u *Cannabis sativa* L.

Datum sklizně	Váha kádinky (g)			Váha vzorku (g)	Tepelný skok dT (°C)	Vypočtené teplo Q _s (J/g)	Poznámka
	prázdná	Se vzorkem	Po spálení				
21. 10.2014	5,4624	6,4687	5,4920	1,0063	1,99010	17 920	
	5,1620	6,2024	5,2013	1,0404	2,04784	17839	>81 J/g
4. 11. 2014	5,1610	6,1674	5,1935	1,0064	1,91017	17 195	
	5,4595	6,4505	5,4883	0,9910	1,89773	17 348	
	5,1653	6,1961	5,1918	1,0308	1,97923	17 398	>50 J/g
20. 11.2014	5,4628	6,4684	5,4947	1,0056	1,95703	17 663	
	5,1616	6,1798	5,1877	1,0182	1,97298	17 556	>107 J/g
11. 12.2014	5,4594	6,4617	5,4873	1,0023	1,94378	17 571	
	5,1602	6,1663	5,1808	1,0061	1,93618	17 436	
	5,4588	6,4677	5,4868	1,0088	1,96054	17 609	>38 J/g
14. 01.2015	11,2070	12,2343	11,2216	1,0273	2,04619	18 051	
	11,2062	12,2064	11,2248	1,0002	2,00731	18 186	
	11,5228	11,5202	11,5353	0,9974	1,99619	18 136	>50 J/g
26. 01.2015	11,5225	12,5363	11,5411	1,0138	2,04488	18 280	
	11,5037	12,5571	11,5360	1,0534	2,12447	18 281	>1 J/g
17. 02.2015	11,2052	12,3046	11,2231	1,0994	2,19015	18 060	
	11,5212	12,5504	11,5452	1,0292	2,0662	18 195	
	11,5247	12,5351	11,5429	1,0104	2,03381	18 242	>47 J/g
25. 03.2015	11,2060	12,2363	11,2195	1,0303	2,06845	18 196	
	11,5223	12,6338	11,5342	1,1115	2,21768	18 089	>107 J/g

Tabulka VI: Naměřené hodnoty pro výpočet spalného tepla u *Miscanthus x giganteus*

Datum sklizně	Váha kádinky (g)			Váha vzorku (g)	Tepelný skok dT (°C)	Vypočtené teplo Q _s (J/g)	Poznámka
	prázdná	Se vzorkem	Po spálení				
21. 10. 2014	5,4734	6,4200	5,4970	0,9466	2,02450	19 987	
	5,1741	6,1095,	5,1892	0,9354	1,90195	18 896	
	5,4774	6,4387	5,4896	0,9613	1,95757	19 027	>31 J/g
4. 11. 2014	5,1745	6,2068	5,1948	1,0323	2,10154	19 028	
	5,4724	6,5244	5,4871	1,0520	2,14886	19 094	>66 J/g
20. 11. 2014	5,1652	6,1223	5,1743	0,9571	1,93627	18 902	
	5,1632	6,1658	5,1770	1,0026	2,04766	19 087	
	5,4637	6,4775	5,4772	1,0138	2,06368	19 025	>62 J/g
11. 12. 2014	5,1627	6,1777	5,1775	1,0250	2,05111	18 886	
	5,4631	6,4965	5,4792	1,0334	2,09509	18 949	
	5,4636	6,4680	5,4795	1,0044	2,03585	18 992	>63 J/g
14. 01. 2015	5,1621	6,1738	5,1776	1,0117	2,07522	19 172	
	5,4634	6,4675	5,4781	1,0041	2,07471	19 312	
	5,4629	6,4134	5,4676	0,9505	2,02401	19 297	>15 J/g
26. 01. 2015	5,1635	6,1933	5,1718	1,0297	2,19694	19 343	
	5,4632	6,5036	5,4765	1,0404	2,20665	19 229	>113 J/g
17. 02. 2015	5,1627	6,2218	5,1783	1,0591	2,27459	19 473	
	5,4628	6,4797	5,4712	1,0169	2,19626	19 580	>106 J/g
25. 03. 2015	5,1640	6,1727	5,1702	1,0087	2,17318	19 531	
	5,4627	6,4834	5,4693	1,0207	2,16707	19 252	
	5,1624	6,1649	5,1681	1,0025	2,14802	19 423	>107 J/g

Tabulka VII: Naměřené hodnoty pro výpočet obsahu popela u *Cannabis sativa* L.

datum	m1 [g]	m2 [g]	m3 [g]	A [%]	m3 – m1	m2 – m1	(m3-m1)/ (m2-m1)
21.10.2014	22,03	23,16	22,13	8,85	0,10	1,13	0,09
	14,68	15,84	14,79	9,48	0,11	1,16	0,09
	22,14	23,27	22,26	10,62	0,12	1,13	0,11
4. 11. 2014	21,68	22,83	21,8	10,43	0,12	1,15	0,10
	14,60	15,84	14,74	11,29	0,14	1,24	0,11
	22,73	23,86	22,860	11,62	0,13	1,13	0,12
20.11.2014	21,51	22,68	21,63	10,26	0,12	1,17	0,10
	15,07	16,28	15,20	10,74	0,13	1,21	0,11
	22,34	23,52	22,47	11,24	0,13	1,18	0,11
11.12.2014	22,35	23,52	22,46	9,40	0,11	1,17	0,09
	14,31	15,55	14,42	8,87	0,11	1,24	0,09
	21,68	22,80	21,78	9,20	0,10	1,12	0,09
14. 1. 2015	22,14	23,30	22,22	6,90	0,08	1,16	0,07
	13,90	15,10	13,98	6,67	0,08	1,20	0,07
26. 1. 2015	21,28	22,43	21,36	6,96	0,08	1,15	0,07
	14,21	15,40	14,29	6,72	0,08	1,19	0,07
17. 2. 2015	21,08	22,20	21,15	6,25	0,07	1,12	0,06
	15,52	16,45	15,33	6,67	0,08	1,20	0,07
	21,07	22,18	21,15	7,64	0,08	1,11	0,07
25. 3. 2015	22,73	23,96	22,80	5,69	0,07	1,23	0,06
	15,17	16,35	15,24	5,93	0,07	1,18	0,06

Tabulka VIII: Naměřené hodnoty pro výpočet obsahu popela u *Miscanthus x giganteus*

datum	m1 [g]	m2 [g]	m3 [g]	A [%]	m3 – m1	m2 – m1	(m3-m1)/ (m2-m1)
21. 10.2014	20,16	21,88	20,66	3,94	0,05	1,27	0,04
	16,11	17,34	16,16	4,07	0,05	1,23	0,04
4. 11. 2014	24,18	25,33	24,23	4,35	0,05	1,15	0,04
	13,59	14,73	13,64	4,39	0,05	1,14	0,04
20. 11.2014	16,76	17,98	16,80	3,28	0,04	1,22	0,03
	16,15	17,29	16,20	4,39	0,05	1,14	0,04
	20,61	21,79	20,66	4,24	0,05	1,18	0,04
11. 12.2014	18,42	19,60	18,46	3,39	0,04	1,18	0,03
	16,71	17,85	16,76	4,39	0,05	1,14	0,04
	21,28	22,45	21,33	4,27	0,05	1,17	0,04
14. 1. 2015	18,06	19,18	18,11	4,46	0,05	1,12	0,04
	16,76	17,93	16,80	3,42	0,04	1,17	0,03
	21,52	22,68	21,55	2,59	0,03	1,16	0,03
26. 1. 2015	17,70	18,81	17,76	5,41	0,06	1,11	0,05
	18,06	19,23	18,12	5,13	0,06	1,17	0,05
	24,18	25,32	24,22	3,51	0,04	1,14	0,04
17. 2. 2015	17,11	18,37	17,14	2,38	0,03	1,26	0,02
	16,15	17,32	16,18	2,56	0,03	1,17	0,03
	22,03	23,19	22,06	2,59	0,03	1,16	0,03
25. 3. 2015	15,63	16,81	15,67	3,39	0,04	1,18	0,03
	18,42	19,55	18,45	2,65	0,03	1,13	0,03
	16,71	17,87	16,75	3,45	0,04	1,16	0,03