

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Agroekologie

Katedra agroekosystémů

Vedoucí katedry: prof. Ing. Jan Moudrý, CSc.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Produkční schopnosti ozdobnice čínské (*Miscanthus giganteus*) a možnosti jejího energetického využití

Vedoucí diplomové práce: Ing. Marek Kopecký

Autor diplomové práce: Bc. Marie Kropšová

České Budějovice, 2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Marie KROPŠOVÁ**
Osobní číslo: **Z13441**
Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**
Studijní obor: **Agroekologie**
Název tématu: **Produkční schopnosti ozdobnice čínské (*Miscanthus giganteus*)
a možnosti jejího energetického využití**
Zadávací katedra: **Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií**

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


1. Vypracovat literární rešerši shrnující informace o pěstování ozdobnice čínské a možnostech jejího energetického využití.
2. Seznámit se s metodikou pěstování ozdobnice čínské na experimentálním pozemku Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích a referenčních plochách (dle možností).
3. Sledovat produkční parametry (výnosový potenciál, výška porostu, množství rostlin na metr čtvereční) ozdobnice čínské na lokalitě v Českých Budějovicích.
4. Vyhodnotit data získaná z literatury a porovnat je s vlastními zjištěními.

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

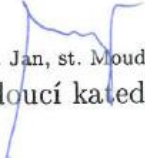
KÁRA, Jaroslav. *Energetické rostliny: technologie pro pěstování a využití.* Praha, 2005, 81 s. ISBN 80-868-8406-6.
MALAŤÁK, Jan a Petr VACULÍK. *Biomasa pro výrobu energie.* Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. ISBN 978-80-213-1810-6.
PASTOREK, Zdeněk, Jaroslav KÁRA a JEVIČ. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie.* Praha: FCC Public, 2004, 286 s. ISBN 80-865-3406-5.
PETERKA, Jiří, Stanislav KUŽEL a Ladislav KOLÁŘ. *Komplexní využití biomasy: (návod pro cvičení).* 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 2011. ISBN 978-80-7394-264-9.
PETŘÍKOVÁ, Vlasta. *Energetické plodiny.* 1. vyd. Praha: Profi Press, 2006. ISBN 80-867-2613-4.
STRAŠIL, Zdeněk. *Základy pěstování a možnosti využití ozdobnice (Miscanthus).* Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2009. ISBN 978-80-7427-006-2.
ŠIMON, Josef a Zdeněk STRAŠIL. *Perspektivy pěstování plodin pro nepotravinářské účely: (studijní zpráva).* 1. vyd. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2000, 50 s. Studijní informace. ISBN 80-727-1047-8.
Využití fytomasy pro energetické účely: sborník vědeckých publikací z mezinárodního semináře "Nepotravinářské využití fytomasy" : [v Českých Budějovicích dne 1.9.2005]. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2005, 123 s. ISBN 80-704-0833-2.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Marek Kopecký**
Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií

Datum zadání diplomové práce: **14. února 2014**
Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2015**


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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13
370 05 České Budějovice


prof. Ing. Jan, st. Moudrý, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 26. března 2014

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

V Českých Budějovicích dne 10. 4. 2015

.....

Jméno

Poděkování

Mé poděkování patří vedoucímu práce Ing. Markovi Kopeckému za cenné rady při psaní práce.

Dále bych chtěla poděkovat celé své rodině - tatínkovi, manželovým rodičům a mým sestrám. Můj veliký dík patří především manželovi za trpělivost, vstřícnost a všestrannou pomoc.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou obnovitelných zdrojů, biomasou a možnostmi jejího využití. Práce je zaměřena na ozdobnici čínskou (*Miscanthus giganteus*). Je zde popsána charakteristika rostliny, technologie pěstování, sklizeň a možné způsoby jejího využití, se zaměřením na spalování. Pozornost je zaměřena také na výnosový potenciál rostliny. Praktická část popisuje pokusy s ozdobnicí na pokusné lokalitě v Českých Budějovicích. Jsou zde zaznamenány výsledky experimentů, jejich vyhodnocení a porovnání s literaturou.

Klíčová slova:

Biomasa, ozdobnice, pěstování, spalování, výnosy.

Abstract

The thesis deals with renewable resources, biomass and its possible uses. The work is focused on *Miscanthus sinensis*. It describes characteristics of plants, growing technology, harvesting and possible ways to use it - mainly burning. Attention is also focused on the yield potential of plants. The practical part of the thesis describes experiments with miscanthus at the experimental site in České Budějovice. There are reported experimental results and their evaluation and comparison with the literature.

Key words:

Biomass, miscanthus, cultivation, burning, yields.

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Literární rešerše	10
2.1 Zdroje energií ve světě	10
2.2 Obnovitelné zdroje energie.....	10
2.3 Biomasa	12
2.3.1 Význam využití biomasy.....	12
2.3.2 Zbytková biomasa	13
2.3.3 Záměrně produkovaná biomasa	14
2.3.4 Možnosti energetického využití biomasy	15
2.3.4.1 Spalování	16
2.3.4.2 Zplyňování.....	18
2.3.4.3 Pyrolýza.....	18
2.3.4.4 Anaerobní fermentace	19
2.4 Miscanthus.....	20
2.4.1 Charakteristika rodu Miscanthus.....	21
2.4.2 Botanická charakteristika	21
2.4.3 Nároky na stanoviště	22
2.4.4 Technologie pěstování	23
2.4.5 Hnojení.....	24
2.4.6 Ochrana rostlin	24
2.4.7 Sklizeň a posklizňové ošetření	25
2.4.8 Likvidace porostu	25
2.4.9 Povolené odrůdy	26
2.4.10 Využití produktu	26
2.4.10.1 Spalování ozdobnice	27
2.4.10.2 Další využití ozdobnice	30
2.4.11 Výnosový potenciál.....	31
2.4.11.1 Faktory ovlivňující výnosy	31
2.4.11.2 Výnosy ozdobnice v evropských zemích.....	33
2.4.11.3 Výnosy ozdobnice v České republice.....	34

3. Cíle a hypotézy	36
4. Materiál a metodika	37
5. Výsledky a diskuze	40
5.1 Výška nadzemní biomasy.....	40
5.2 Výnosové parametry.....	41
5.2.1 Obsah sušiny v biomase	41
5.2.2 Hmotnost získané čerstvé hmoty	42
5.2.3 Hmotnost získané suché hmoty.....	43
5.3 Stanovení výtěžnosti bioplynu	45
5.4 Energetická výtěžnost při spalování	48
6. Závěr	51
7. Použitá literatura	53
8. Přílohy.....	59

1. Úvod

V současné době byl zaznamenán trend zvyšující se spotřeby energií. A to kvůli rozvoji průmyslu a zvyšujícímu se počtu lidí na planetě Zemi. Drtivá většina využívaných zdrojů je fosilního původu. Fosilní zdroje paliv jsou neobnovitelné a vyčerpitelné. Podle některých hypotéz může dojít k vyčerpání fosilních paliv v horizontu několika desítek let. Jejich využíváním se zvyšuje koncentrace oxidů uhlíku, dusíku a síry, polévatého prachu a jiných škodlivých látek v ovzduší. Spalování fosilních paliv zvyšuje koncentraci oxidu uhličitého v atmosféře, což společně s dalšími skleníkovými plyny vede ke zvyšování přirozeného skleníkového efektu a způsobují tak nárůst teplot na zeměkouli, tzv. globální oteplování. Z těchto důvodů se snaží vyspělé země od používání fosilních paliv ustupovat.

Náhradu za fosilní zdroje energie představují obnovitelné zdroje energie (OZE). V současné době vyspělé státy podporují jejich výzkum a aplikaci. Česká republika, jako členský stát Evropské unie, se zavazuje snížit podíl používaných fosilních paliv a nahradit je alternativními zdroji energie. Do roku 2020 by měl být podíl OZE na spotřebě energie 20% a minimální podíl biopaliv 10%.

Z hlediska zvyšování podílu OZE na celkové spotřebě zdrojů má velký potenciál využití biomasy. Pro tyto účely jsou buď využívány odpady ze zpracování biomasy, nebo jsou k tomuto účelu záměrně pěstovány různé druhy dřevin a bylin - tzn. nepotravinářské využití biomasy.

Mezi plodiny pěstované pro nepotravinářské použití patří např. ozdobnice čínská (*Miscanthus giganteus*), která představuje velmi nenáročnou plodinu s vysokými produkčními schopnostmi a vysokou mírou výhřevnosti při spalování.

2. Literární rešerše

2.1 Zdroje energií ve světě

Distribuce a spotřeba vyrobené energie je v globálním měřítku poměrně nevyrovnaná. Třetina světového obyvatelstva má pouze částečně nebo nemá vůbec přístup k elektřině. V průběhu 20. století došlo k prudkému nárůstu spotřeby neobnovitelných zdrojů. Mezi ně patří fosilní paliva (uhlí, ropa, hořlavé břidlice a píský, rašelina a zemní plyn) a jaderné palivo uran 238 a 235. Využívání fosilních paliv v masové míře zahájila průmyslová revoluce. Do té doby bylo nejrozšířenější palivo dřevo. Fosilní paliva jsou zbytky prehistorické organické hmoty, ke které neměl přístup vzduch (PETŘÍKOVÁ A KOL., 2006). Obsahují velké množství uhlíku a vodíky, které nejsou chemicky vázány na jiné prvky, a proto mají poměrně velkou výhřevnost (ŠKORPÍK, 2011). Jejich využití spočívá hlavně ve spalování v zařízeních, které vyrábí teplo nebo elektrickou energii. Z fosilních paliv se ale vyrábějí mj. i plasty a některé léky (PASTOREK A KOL., 2004).

Dalším z významných zdrojů energie je jaderná energie, která je v současné době velice diskutovaná. Představuje riziko nebezpečné havárie a není vyřešen problém s ukládáním vyhořelého jaderného paliva. Výhodou této energie jsou téměř nulové emise, vysoká výroba v podílu na instalovaném výkonu a možnost výkon částečně regulovat. Podle World nuclear association (2014) je podíl jaderných zdrojů na světové výrobě elektřiny přibližně 11 % a 4,5% podíl na spotřebě primárních zdrojů energie. Pro srovnání podíl elektrické energie vyrobené v jaderných elektrárnách v České republice je 35,3 % (International Atomic Energy Agency, 2014).

Je důležité hledat nové možnosti úspory energií - např. zlepšováním technologií a technologických postupů, snižováním tepelných ztrát izolací budov, snižováním energetické náročnosti dopravy, atd. (HOEL A KVERNDOKK, 1996).

2.2 Obnovitelné zdroje energie

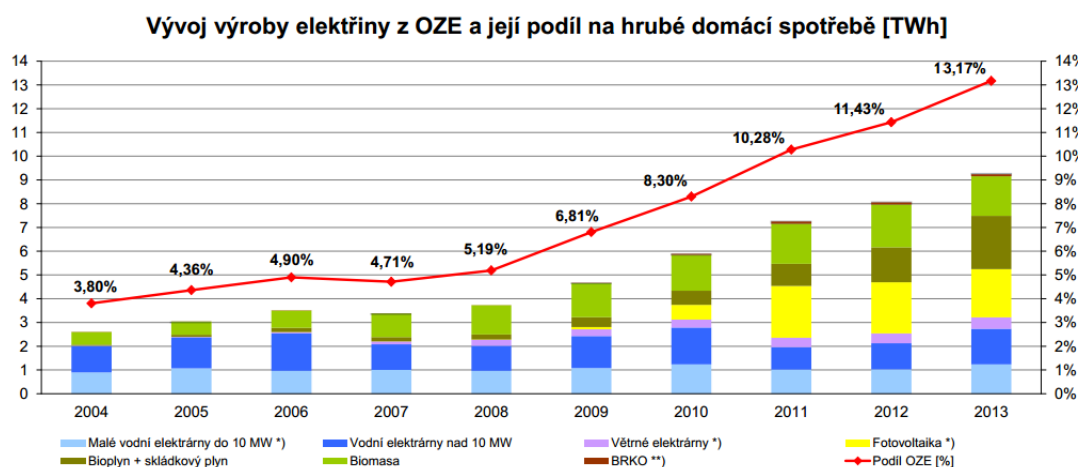
Obnovitelné zdroje energie jsou definovány podle zákona č. 17/1992 Sb. o životním prostředí ve znění zákona č. 123/1998 Sb. a zákona č. 100/2001 Sb. jako

přírodní zdroje, které mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka (Sbírka zákonů ČR).

Mezi druhy obnovitelných zdrojů energie patří vodní energie, energie větru, geotermální energie, tepelná čerpadla a energie biomasy (PASTOREK A KOL., 2004). Z obnovitelných zdrojů energie má neomezený potenciál sluneční energie; využití větrné, vodní nebo geotermální energie je v našich podmínkách omezené. Podle zprávy vydané Energetickým regulačním úřadem byl podíl využití OZE na celkové spotřebě energie v roce 2014 9-10 %.

Obnovitelné zdroje energie se v současnosti dostávají do popředí zájmů. Přínosem OZE je především snižování emisí skleníkových plynů a omezení znečištění ovzduší. OZE jsou většinou domácího původu, což snižuje závislost na dodávkách energie ze zahraničí. Představují klíčový prvek budoucí udržitelné energetiky (HAVLÍČKOVÁ A KOL., 2007).

Následující graf (Obr. 1) zobrazuje vývoj výroby elektřiny z OZE a její podíl na hrubé domácí spotřebě od roku 2004 do roku 2013 v České republice. Z grafu je patrný rostoucí podíl biomasy a fotovoltaických článků. Ostatní zdroje (vodní elektrárny a větrné elektrárny) jsou za posledních šest let víceméně konstantní. Dále je zřejmý postupný vzrůst výroby elektřiny z OZE.



Obr. 1: Vývoj výroby elektřiny z OZE a její podíl na hrubé domácí spotřebě.

(Zdroj: Energetický regulační úřad, 2013).

Aby byla výroba energie u nás z obnovitelných zdrojů investičně návratná, je nutné, aby ji stát finančně podporoval. Proto je důležité pracovat na výzkumu, jak výrobu zlepšovat a hledat nové postupy snižující náklady na celý proces výroby energie (STRAŠIL A ŠIMON, 2009).

2.3 Biomasa

2.3.1 Význam využití biomasy

V první polovině 20. století sloužila biomasa k výrobě velkého množství biopaliv (lihu, dřevěného uhlí) nebo sloužila přímo k získání energie. Za posledních několik let se biomasa opět stává atraktivním zdrojem energie. Ve struktuře užití OZE hraje v ČR dominantní roli - tvoří cca 65 % (HAVLÍČKOVÁ A KOL., 2007). Biomasa je využívána hlavně ve formě palivového dříví, dřevního odpadu z pil, papírenského průmyslu a průmyslu zpracování dřeva. Dále se využívají i ostatní formy biomasy jako např. sláma nebo fytomasa jednoletých a víceletých energetických bylin.

Podle PETŘÍKOVÉ A KOL. (2006) využíváním biomasy jako energetického zdroje lze omezit globální oteplování, klimatické změny, ale také využít nadbytečnou půdu nepotřebnou pro výrobu potravin pěstováním energetických rostlin. Nepotřebná půda je zatrávňována a vzniklé travní plochy jsou udržovány prostřednictvím zemědělských dotací. Pěstováním energetických rostlin na nadbytečné půdě je možno zajistit údržbu krajiny, omezit zaplevelování, snížit riziko eroze a úniky nitrátů do vod. Zazelenění krajiny pěstováním energetických rostlin zlepšuje životní prostředí, ale zároveň má zeleň vliv na filtrování a odprášení vzduchu. Dalším důvodem pro pěstování vytrvalých plodin je změna teplotních poměrů v půdě (odlišné prohřívání půdy na jaře a na podzim) a také příznivý vliv na strukturní stav půdy (zvýšení vodostálosti půdních agregátů), zlepšení hospodaření s půdní vodou (zvýšení vododržnosti půdy, omezení neproduktivního výparu vody z půdy mulčem z rostlinných zbytků), omezení vyplavování pohyblivých forem dusíku při dlouhodobém působení rostlin na jednom stanovišti, zlepšení stavu půdní organické hmoty, aj. (HŮLA A PROCHÁZKOVÁ, 2002).

Pěstování energetických rostlin, jejich zpracování, výroba fytopaliv a budování energetických zařízení představuje novou sféru pracovních příležitostí na venkově a podílí se také na hospodářské prosperitě obcí (PETŘÍKOVÁ A KOL., 2006). Nevýhodou využívání biomasy jako zdroje energie je ve srovnání s fosilními palivy její nižší energetická hustota (tzn. obsah energie odvozený na jednotku objemu), což se projevuje nepříznivě v logistice (dopravě a skladování) (MALAŤÁK A KOL., 2005).

Hlavní současnou nevýhodou energetického využití biomasy je její nedostatečná ekonomická konkurenční schopnost vůči fosilním palivům. Energie z biomasy je využívána zatím jen v místních výtopnách, kde se např. spalují dřevní zbytky ze dřevozpracujících provozů nebo u systémů založených na spalování slámy jako vedlejšího produktu. Pěstování energetických rostlin, jejich sklizeň a příprava fytopaliv představuje provozně a investičně náročný řetězec operací a jednotkové náklady jsou ovlivněny výnosem, který v může v jednotlivých letech značně kolísat (PETŘÍKOVÁ A KOL., 2006).

Podle ŠIMONA A STRAŠILA (1999) biomasu vhodnou pro výrobu energie dělíme na dvě skupiny, podle způsobu jejího vzniku:

- a) biomasa zbytková a recyklovaná z výrobků po ukončení jejich životnosti
- b) záměrně produkovaná biomasa

2.3.2 Zbytková biomasa

Zbytková biomasa je v našich podmínkách dostupná a levná forma paliva. Proto bývá hlavním zdrojem v již existujících nebo budovaných výtopnách a kotelnách na spalování biomasy (HAVLÍČKOVÁ A KOL., 2007). Do této skupiny patří rostlinné odpady - hlavně zemědělské posklizňové zbytky, tzn. obilná, řepková a kukuřičná sláma, seno, zbytky po likvidaci křovin a náletových dřevin, odpady ze sadů a vinic, atd. Dále odpadní dřevní biomasa z těžeb v lesních porostech, organické odpady z průmyslových výrob, odpady ze živočišné výroby a komunální organické

odpady. Nejčastějším zdrojem organických průmyslových odpadů bývají pilařské a dřevozpracující provozy - produkují piliny, odřezky, hobliny a kůru, ze kterých se dále lisují pelety a brikety (HAVLÍČKOVÁ A WEGER, 2006). Z odpadů ze zemědělské výroby se nejvíce používá kejda, slamnatý hnůj, zbytky krmiv a odpady z přidružených zpracovatelských kapacit.

Jak uvádí KÁRA (2005) etylalkohol je kapalné palivo, vznikající v lihovarech na základě kvasných procesů cukrů a škrobů a následné destilace. Jeho výhřevnost je poloviční než má benzín či nafta. Lze ho vyrábět z jakékoliv organické hmoty obsahující cukry, škroby, glukózu, ale třeba i celulózu.

Zajímavou skupinou jsou komunální organické odpady, respektive jejich zpracování na bioplyn. Podstatou tvorby bioplynu je organický rozklad hmoty v několika fázových stupních, při teplotách kolem 37 °C, za nepřítomnosti vzduchu a kyslíku (PASTOREK A KOL., 2004).

2.3.3 Záměrně produkovaná biomasa

Poměrně novým zdrojem biomasy jsou porosty tzv. energetických rostlin. Jejich růst a zejména objemové produkce (t/ha/rok) při intenzivním pěstování převyšuje průměrné hodnoty ostatních plodin ve sledované oblasti (HAVLÍČKOVÁ A WEGER, 2006).

První skupinou záměrně pěstované biomasy jsou **energetické rostliny nedřevnaté**. Dosahují velkých výnosů a dají se sklízet běžnými zemědělskými stroji. Jsou využívány druhy jednoleté (např. konopí seté, světlice barvířská, lnička setá, atd.), víceleté a vytrvalé (např. komonice bílá, topinambur hlíznatý, šťovík krmný, ozdobnice čínská, atd.) (MOUDRÝ A STRAŠIL, 1996). Celková energetická efektivita (tzn. poměr energie vložené a získané) je u vytrvalých plodin vyšší než u jednoletých. U jednoletých rostlin tento poměr 1:5-15 a co se týče víceletých, je tento poměr 1:75-125 (v závislosti na výnosech a intenzitě pěstování) (KÁRA, 2005).

Druhou skupinou jsou **energetické dřeviny**, tzv. rychle rostoucí dřeviny (RRD). Jsou schopné produkovat vysoký výnos nadzemní biomasy v krátkém období (3-6 let), jejich životnost se pohybuje v intervalu 20-30 let. Dosahují výnosů okolo 15 t sušiny/ha za rok v průměru za celou dobu existence plantáže. Další vlastností

RRD je rychlý terminální růst v prvních letech po výsadbě, což může být v našich podmínkách 70 cm/rok, a snadné zakládání porostů zejména vegetativním způsobem (WEGER, 2004).

Pěstování vytrvalých energetických plodin má navíc i mimoprodukční funkce. Jedná se o menší intenzitu pěstebních postupů, přispívají k ochraně půdy proti erozi, zvyšují retenční kapacitu území, ochlazují krajinu nebo se podílí na zvýšení biodiverzity zemědělské krajiny (MALAŤÁK A KOL., 2005).

2.3.4 Možnosti energetického využití biomasy

Zatím nejrozšířenějším způsobem energetického využití biomasy je její spalování v kotlích vyrábějících teplou vodu nebo páru. Účinnější metodou využití potenciálu biomasy je transformace hořlaviny do plynné formy a následné využití plynu v kogeneračních jednotkách, ať již jde o technologie anaerobní digesce nebo o pyrolýzní technologie realizované ve zplyňovacích generátorech (PETŘÍKOVÁ A KOL., 2006).

Další oblastí uplatnění biomasy jsou motorová biopaliva užívaná v dopravě a k provozu pracovních agregátů. Nejde pouze o klasický metylester řepkového oleje (bionaftu), ale i bioetanol, biometanol a biovodík, případně zkapalněný bioplyn. Využití biomasy k výrobě motorových biopaliv nám zajistí trvale udržitelnou dopravu i po vyčerpání fosilních zdrojů motorových paliv (PASTOREK A KOL., 2004).

Podle způsobu přeměny biomasy rozlišujeme několik způsobů získávání energie z biomasy, jak zobrazuje následující tabulka (Tab. I).

Tab. I: Způsoby získávání energie z biomasy (SOUČKOVÁ A KOL., 2006).

1. Termochemická přeměna biomasy (suché procesy)
- spalování, případně spoluspalování biomasy
- zplyňování
- pyrolýza
2. Biochemická přeměna biomasy (mokrý procesy)
- metanové kvašení
- alkoholové kvašení
3. Chemické přeměny biomasy
- esterifikace surových bioolejů
4. Získávání odpadního tepla při zpracování biomasy
- kompostování
- čištění odpadních vod

Způsob získávání energie z biomasy je závislý na chemicko-fyzikálních vlastnostech, především na obsahu sušiny. Materiál s obsahem sušiny vyšším než 50 % je vhodný k tzv. suchým procesům, zatímco biomasa s nižším obsahem sušiny je vhodnější pro tzv. mokré procesy (FUKSA 2009). Nejběžnějšími způsoby získávání energie z biomasy je termochemická přeměna biomasy spalováním a biochemická přeměna kvašením (PASTOREK A KOL., 2004).

2.3.4.1 Spalování

Spalovací proces je nejjednodušší forma využití energie biomasy. Rostliny využívají pro svůj růst oxid uhličitý, který absorbují z atmosféry a prostřednictvím fotosyntézy ho přeměňují na uhlovodíky. Při spalování nastává opačný proces - tzn. oxid uhličitý se uvolňuje do atmosféry a později je opětovně využit při fotosyntéze. Spalování biomasy má tedy neutrální vliv na obsah oxidu uhličitého v atmosféře, na rozdíl od fosilních paliv. Pěstování plodin na fytomasu pro energetické a technické účely má kromě energetického přínosu i ekologický význam v omezování skleníkového efektu, v úspoře fosilních zdrojů energie a ve využití půdy (BEHNKE A KOL., 2012).

Spalování slouží k výrobě tepla - ve formě teplé vody, páry nebo elektrické energie. Biomasu je vhodné upravit - do formy pelet, briket, kvádrových balíků nebo

balíků válcového tvaru. Konstrukce spalovacího zařízení bývá upravená podle druhu spalované hmoty. Spalování fytomasy je po technické stránce stále zdokonalováno (FUKSA, 2009).

Jak ve své práci píše PETŘÍKOVÁ A KOL. (2006) biomasa obsahuje velký podíl prchavé hořlaviny a kinetika jejího spalování a další specifické vlastnosti hmoty si žádají speciální konstrukce kotlů, zejména co se týče velikosti, uspořádání a prostorového dimenzování topenišť, přívodů spalných vzduchů a řešení teplosměnných ploch. Tyto kotle jsou dnes po technologické a technické stránce vyřešené, ale jejich cena je vyšší než u kotlů na fosilní paliva.

Jak uvádí PASTOREK (2004) dalším nepříjemným jevem fytopaliv je vyšší obsah vody, zejména u surových materiálů, ovlivňující nejen výkonnost, ale i kinetiku spalování. Problém snižování vlhkosti se řeší volbou optimálního termínu sklizně, sušením při skladování a výběrem vhodné spalovací technologie. Palivo, které není dostatečně dosušené, má podstatně nižší výhřevnost.

Nejčastější druh biomasy je dřevní biomasa (dendromasa), dřevní odpad, sláma obilnin a olejnin a rostliny pěstované pro energetické účely. Některá pevná biopaliva mají sice podobné látkové složení, ale výhřevnost je různá. Stébloviny mají víc popelovin (8%) než dřeviny (1%). Hlavní látky hoření - uhlík (44%) a vodík (6%) jsou částečně okysličené, protože rostliny obsahují 36% chemicky vázaného kyslíku. Tato vlastnost zvyšuje jejich výhřevnost oproti fosilním palivům na cca 18 MJ/kg v absolutním suchém stavu. Velký vliv na výhřevnost biomasy má její vlhkost. Optimální vlhkost pro spalování je u stéblovin asi 15-20 % a u dřevin 20-30 % (FUKSA, 2009). Určité množství vody je palivu v potřebné, protože absolutně vysušený organický prach je vlastně výbušnina (PORVAZ A KOL., 2008).

Ke spalování jsou vhodné některé druhy trav. Podle PETŘÍKOVÉ (2005) jsou pro přímé spalování efektivní rostliny, které dosahují výnosu kolem 10 t suché hmoty z 1 ha. V ČR byly ke spalování zkoušeny jednoleté druhy lesknice kanárská a proso seté, z víceletých a vytrvalých ovsík vyvýšený, psineček veliký, kostřava rákosovitá, sveřep bezbranný, sveřep horský, chrastice rákosovitá a ozdobnice čínská. Potenciál však mají i druhy jako jílek mnohokvětý, bojíněk luční, psárka luční, rákos obecný, třtina křovištní aj. (FUKSA, 2009).

2.3.4.2 Zplyňování

Zplyňování biomasy je proces konverze tuhých paliv uhlíkového základu (dřevní štěpka, zbytky zemědělské produkce, atd.) do hořlavé směsi plynů. Zplyňování probíhá za omezeného přístupu vzduchu za teplot mezi 700 a 1200 °C. Výhodou je vysoká účinnost konverze i méně kvalitního paliva na plyn, který lze efektivně využít pro výrobu elektrické energie a tepla.

Je to komplexní proces, kterého se účastní celá řada reakcí. Produktem je plyn obsahující výhřevné složky (H₂, CO, CH₄ a další minoritní sloučeniny), doprovodné složky (CO₂, H₂O, N₂) a znečišťující složky (dehet, prach, sloučeniny síry, atd.). Vzniklý plyn je zchlazen zbaven nežádoucích látek a zbytků pevných částic. Plyn bývá většinou spalován v kogenerační jednotce, přičemž dochází k výrobě elektřiny a tepla (POHOŘELÝ A JEREMIÁŠ, 2010).

2.3.4.3 Pyrolýza

Podle VÁNI (2001) pyrolýza (neboli odplynění) představuje tepelný rozklad organických materiálů za nepřístupu zplyňovacích médií, jako je kyslík, vzduch, oxid uhličitý nebo vodní pára.

V praxi je rozlišováno několik typů pyrolýzy:

1. pomalá pyrolýza (karbonizace) při teplotách kolem 450 °C, s nízkou rychlostí zahřívání a dlouhou dobou vypařování poskytuje přibližně vyrovnaný podíl tuhých, kapalných a plyných produktů. Nejčastější využití pomalé pyrolýzy je pro výrobu dřevěného uhlí. Dřevo se zuhelňuje při teplotách kolem 400 °C a to obvykle přímo částí vlastních pyrolýzních plynů.

2. rychlá nebo také blesková pyrolýza při teplotách cca 500 °C, při velmi rychlém zahřívání a krátké době vypařování umožňuje vyšší produkci kapalných podílů, v rozmezí 60-70 % vztaženo na vysušenou surovinu. Rychlá pyrolýza je jedním z nejnovějších procesů přeměny biomasy na produkty s vysokou energetickou hodnotou - kapaliny. Hlavním produktem jsou páry a aerosoly, které

po rychlém zchlazení kondenzují na kapalinu o výhřevnosti 16 - 22 MJ/kg, kterou je možno upravovat na motorové či jiné biopalivo.

Z celkových produktů rychlé pyrolýzy je možno získat 75 %_{hm} kapalného biopaliva, 13 %_{hm} hořlavého plynu a 12 %_{hm} tuhé zkarbonizované biomasy. Tento proces je však stále ve fázi výzkumu a vývoje (OCHODEK A KOL., 2007).

2.3.4.4 Anaerobní fermentace

Anaerobní fermentace je jeden ze způsobů využití biomasy k výrobě energie. Bioplynová stanice zpracovává biomasu s vysokou vlhkostí, která není vhodná pro spalování. Základem bioplynové stanice je fermentor, ve kterém probíhá řízená anaerobní fermentace. Tento proces umožňuje využít část energie vázané v organické hmotě k produkci bioplynu při zachování hnojivých účinků vstupního materiálu. Vyprodukovaný bioplyn obsahuje kolem 50-70 % metanu a digestát je využíván jako hnojivo. Získaný bioplyn má výhřevnost 18-26 MJ/m³ (MALAŤÁK A VACULÍK, 2008).

Proces výroby bioplynu se skládá ze čtyř fází. První z nich je hydrolýza, při které jsou složité molekuly organických sloučenin rozloženy na jednodušší. Následuje acidogeneze, kdy jsou tyto molekuly přeměněny na mastné kyseliny působením acidogenních bakterií. Pak probíhá acetogeneze, jejímž hlavním produktem je kyselina octová. Poslední fází je metanogeneze, při které se působením metanogenních bakterií tvoří metan a oxid uhličitý (MUŽÍK A KÁRA, 2009).

Jak uvádí PASTOREK A KOL. (2004) při výrobě bioplynu je nutné udržovat optimální podmínky pro mikroorganismy - udržovat vlhké a anaerobní prostředí, teplotu 20 - 45° C, zamezit přístupu světla, vhodné pH (6,5 - 7,5), přísun živin, minerálních látek a stopových prvků, rovnoměrný přísun substrátu, sledovat přítomnost toxických a inhibujících látek aj.

Výroba bioplynu je nejúčinnější způsob zpracování vedlejších zemědělských produktů, dochází k vyšší využitelnosti živin, snížení zápachu zemědělských odpadů, omezení výskytu zvířecích patogenů a semen plevelů a k poklesu emisí skleníkových plynů v průběhu skladování a aplikace (MUŽÍK A KÁRA, 2009).

Bioplyn je v současné době využíván pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla v tzv. kogenerační jednotce. Tento způsob výroby energie lze aplikovat pouze tam, kde je k dispozici vhodný vstupní materiál pro tvorbu bioplynu a současně je možné lokálně spotřebovat elektrickou energii nebo ji dodat do distribuční soustavy. Malá část odpadního tepla vznikajícího při výrobě elektřiny je využívána pro potřeby udržení optimálních podmínek fermentačního procesu, převážná část je pak uplatněna pro vytápění a ohřev vody. Oproti výrobě elektřiny z jiných OZE (např. větrné nebo solární) se výroba elektřiny v kogeneračních jednotkách vyznačuje stabilním a konstantním výstupem, což technicky ulehčuje regulaci distribuční soustavy (BEHNKE A KOL., 2012).

Podle údajů Ministerstva zemědělství ČR je přibližně jedna pětina energie z OZE vyrobena v bioplynových stanicích. V roce 2012 bylo v České republice v provozu 481 bioplynových stanic o celkovém instalovaném výkonu 363,24 MW a s výrobou elektřiny 1406 GWh. Zemědělské bioplynové stanice z tohoto počtu tvoří 65 %, bioplynové stanice zpracovávající komunální bioodpady 1,5 % a zbytek tvoří bioplynové stanice na čistírnách odpadních vod a odplynění skládek komunálního odpadu.

2.4 Miscanthus

Miscanthus neboli ozdobnice je vytrvalá tráva vysokého vzrůstu. Na našem území může za příznivých podmínek dosahovat výnosu přes 30 tun sušiny nadzemní fytomasy z hektaru (ŠIMON A STRAŠIL, 1999). Tato rostlina je odolná proti chorobám a škůdcům. Ve většině evropských zemích jsou založeny pokusná políčka s miscanthem a testuje se jeho vhodnost pro energetické využití (MOUDRÝ A STRAŠIL, 1996). V současné době je v Evropě vysázeno cca 500 ha ozdobnice, z toho asi 80 % této výměry se nalézá v Německu a Nizozemsku (WEGER A KOL., 2012). Pokusy s touto rostlinou probíhají i v USA (HEATON A KOL., 2014).

Podle WEGERA A KOL. (2012) má ozdobnice mnoho výhod jako je dosahování každoročních vysokých výnosů sušiny fytomasy, vysoce efektivní využívání vody, vysoce efektivní využívání dusíku, sklizeň většinou běžně

používanými sklizňovými mechanismy atd. Má však ale i dvě nezanedbatelné nevýhody. V prvním roce po výsadbě může během zimy dojít k vymrznutí založeného porostu a druhou nevýhodou jsou velké náklady na sadbu. Ale i přes tyto problémy lze považovat ozdobnici za významný surovinový zdroj pro průmyslové a energetické využití (PETŘÍKOVÁ A KOL., 2006).

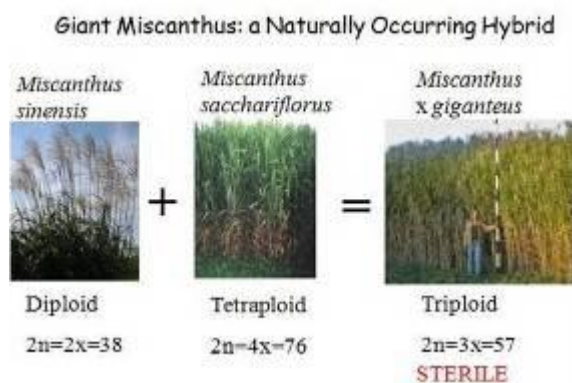
2.4.1 Charakteristika rodu *Miscanthus*

Miscanthus pochází z východní Asie (východní Rusko, Čína - Madžarsko, Tchaj-wan, Korea, Thajsko, Polynésie) (MENARDO A KOL., 2013). Ve své domovině je používán jako krmná plodina nebo při protierozní výsadbě. Do Evropy, do Dánska, se ozdobnice dostala v roce 1935. Přivezený klon měl mimořádně velký vzrůst a byl označen jako *Miscanthus sinensis Giganteus*. Právě z tohoto původního klonu pochází většina současné výsadby používané v Evropě (PETŘÍKOVÁ A KOL., 2006).

2.4.2 Botanická charakteristika

Z botanického hlediska je ozdobnice řazena do třídy jednoděložné (*Monoxyledonae*), čeleď lipnicovité (*Poaceae*), tribus vousatkovité (*Andropogoneae*) (PORVAZ A KOL., 2008). Rod *Miscanthus* zahrnuje celkem 33 taxonů. Je to vytrvalá rostlina typu C4. Stébla jsou pevná, dřevnatějící, dosahující výšky až 4 m. Má širokou latu, okolíkatě patrovitou, větévky odvislé. Klásky na bázi s jemnými chlupy přibližně stejně dlouhými jako osinaté nebo bezosinaté chlupy. Květy jsou v uvedených, nachově hnědých kláscích, vytvářejících rozvětvené laty. *Miscanthus giganteus* kvete vzácně v povětrnostně příznivých letech pozdě na podzim. Čepele listů jsou až 1 m dlouhé, 1 cm široké. Listy jsou lysé, středně zelené, vytrvávající přes zimu, kdy často bronzově zezlátnou. Oddenek je krátký, dřevnatý. Ozdobnice potřebuje 3 - 4 roky aby dosáhla plné zralosti (WEGER A KOL., 2012).

Miscanthus giganteus je kříženec mezi tetraploidním *M. sacchariflorus* a diploidním *M. sinensis* (HODKINSON A KOL., 2002). Jejich přirozeným zkřížením vznikl sterilní triploidní hybrid *M. giganteus*.



Obr. 2: Vznik hybridu *Miscanthus giganteus* (HEATON A KOL., 2014).

M. sacchariflorus má rychle rostoucí rhizomy a daří se mu v teplých vlhkých oblastech. Oproti tomu má *M. sinensis* schopnost produkovat velké množství semen bývá pěstován prostředí s chladnějším klimatem. Potomci, kteří vznikli křížením těchto dvou druhů (tzn. *M. giganteus*) jsou sterilní a vyznačují se velkým vzrůstem, vysokou tolerancí k nízkým teplotám a v současné době to jsou nejvíce produktivní rostliny v chladnějších oblastech mírného pásma (HEATON A KOL., 2014). Podle LEWANDOWSKI A KOL. (2003) je výhodné, že u tohoto klonu se oddenky příliš nerozrůstají, rostliny nejsou agresivní a nevytvářejí zralá semena, která by se mohla nechtěně šířit do krajiny.

Pro produkci fytomasy a průmyslové využití jsou využívány hlavně *M. tinctorius*, *M. sinensis* a *M. sacchariflorus*. Největší rozšíření a má význam má *Miscanthus sinensis* Andersson. Z hlediska rajonizace je *M. sinensis* nejvhodnější pro severní Evropu, *M. giganteus* pro střední Evropu a *M. sacchariflorus* vyžadující teplejší podmínky pro jižní Evropu (hlavně Středomoří) (WEGER A KOL., 2011).

2.4.3 Nároky na stanoviště

Ozdobníci se nejvíce daří na lehčích strukturních půdách, spíše v teplejších oblastech (do 700 m nad mořem) s vyšším množstvím srážek (500 - 600 mm za rok). Lépe se jí daří na humózních písčitéch půdách s vysokou hladinou podzemní vody (ne však více než 60 cm). Při dosahování 40 tun sušiny z hektaru je třeba aspoň 1000 mm srážek nebo podzemní zavlažování (HOLUB, 2007). Předpokladem vysokých výnosů jsou především vhodné klimatické podmínky - vysoké množství srážek, vyšší teploty v průběhu vegetační sezóny, tzn. od května do září. V prvním roce po

výsadbě mohou nižší teploty přes zimu zapříčinit vymrznutí. Optimální pH je v rozmezí 5,5 - 6,5. Plodina dobře hospodaří s vodou, její koeficient transpirace je cca 250 litrů na kilogram sušiny (HAVLÍČKOVÁ A KOL., 2007).

2.4.4 Technologie pěstování

Co se týče osevního postupu, sazenice nebo rhizomy (tzn. kořenové oddenky) by měly být sázeny po dobrých předplodinách - po okopaninách, luskovinách a obilninách. V Německu se doporučuje sázet po tritikale, řepce, čiroku, kukuřici (PETŘÍKOVÁ A KOL., 2006). Porost ozdobnice se zakládá na 10 až 20 let.

Pro pěstování ozdobnice je vhodné vybrat pokud možno nezaplevelený pozemek s vhodnou předplodinou a výše uvedenými parametry na kvalitu půdy. Na podzim je třeba provést podmtku s rozmělněním posklizňových zbytků a hlubokou orbu. Na jaře před sázením se provádí chemické a mechanické hubení plevelů a příprava seťového lůžka s prokypřením půdy do hloubky 10 cm. Do půdy se sází rostliny vypěstované *in vitro* nebo rhizomy dlouhé minimálně 3 - 4 cm, lépe 10 cm nebo odkopky. Za 2 - 3 roky lze získat z každého zasazeného rhizomu 10 - 20 nových rhizomů (HAVLÍČKOVÁ A KOL., 2007).

Z důvodu vymrzání v prvním roce je možné založený porost ozdobnice přikrýt vrstvou slámy 10 - 15 cm. Další variantou ochrany založeného porostu je výsev vymrzající plodiny do meziřádků (např. hořčice bílé), která přes zimu vytvoří vrstvu ochranného mulče (PETŘÍKOVÁ A KOL., 2006).

Ozdobnice se sází v době, kdy je teplota půdy vyšší než 10^o C, tzn. od poloviny května do poloviny července, v hustotě od 10 000 kusů/ha do 20 000 kusů/ha (MOUDRÝ A STRAŠIL, 1996). Při velkoplošném sázení se používají modifikované sázeče na cibuli nebo brambory nebo stroje na výsadbu lesních stromků. Porosty zakládané z rhizomů je třeba sázet dříve než začnou pučet. Při nešetrné manipulaci by se mohly poškodit. Při výsadbě se doporučuje kořenové baly sazenic navlhčit. Pokud je možnost závlahy, tak se aplikují 2 - 3 dávky kolem 15 mm (HAVLÍČKOVÁ A KOL., 2007). Velmi důležité je přiválcování, aby se oddenky mohly zásobit vlhkem přes kapilární systém v půdě a nevyschly (HOLUB, 2007).

2.4.5 Hnojení

V prvním roce po výsadbě se ozdobnice na dobře zásobených půdách obejde bez hnojení. Na půdách s menší zásobou živin se doporučuje hnojit do poloviny června jednorázově do 50 kg/ha N kvůli vymrzání. Druhým rokem je třeba vycházet ze zásobenosti půd. V průměru se doporučuje hnojit druhým rokem a další léta 70 kg/ha K, 40 kg/ha P a 50 - 100 kg/ha N, nejlépe na jaře a dusík od jara do poloviny července. Podle zásobenosti půdy se hnojí i mikroelementy - Cu, Zn, B, Mn. V Rakousku bylo s úspěchem použito i hnojení kejdou skotu v dávce 30 m³/ha (PETŘÍKOVÁ A KOL., 2006). HOLUB (2007) ve své práci uvádí, že miscanthus nepotřebuje hnojit vůbec, pokud je v půdě dostatek živin a pokud stačí průměrné výnosy kolem 15 t/ha.

2.4.6 Ochrana rostlin

Podle zahraniční literatury i podle zkušeností z našeho území nejsou porosty ozdobnice výrazněji napadány chorobami a škůdci. Je však nutné dbát na ochranu rostlin proti plevelům. První rok po výsadbě, dokud není porost dostatečně zapojený, je možné použít mechanické hubení plevelů např. pomocí prutových bran nebo aplikovat herbicidy. V dalších letech již toto není třeba - opadávající listová hmota vytvoří vrstvu přirozeného mulče, která potlačuje růst plevelů (PETŘÍKOVÁ A KOL., 2006).

V Německu byl s úspěchem na podzim před výsadbou použit postřik Roundupem. Proti dvouděložným plevelům jsou vhodné herbicidy, které se používají do kukuřice. K odstranění lipnice roční a pýru se hodí např. Cato, které však v roce výsadby může způsobovat růstové deprese. Naopak dobře se osvědčili Tolkán Fox, Capsolane, Tribunil + Centrol B a Concet. Roundup lze také použít v druhém roce v březnu před vzejitím ozdobnice. Obecně řečeno, není vhodné používat herbicidy ihned o vzejití rostlin, protože u nově vzešlých rostlin často přetrvává přesazovací stres. V tomto období je u rostlin, které jsou široce sázeny a pravidelně rozmístěny, nejvhodnější mechanická ochrana proti plevelům. Když se ozdobnice více adapтуje, může být použita celá řada selektivních herbicidů (STRAŠIL 2009).

2.4.7 Sklizeň a posklizňové ošetření

Sklizeň je možno provádět pojízdnými samohodnými řezačkami, které se používají na sklizeň kukuřice. Sklizeň suchých rostlin není vázána na přesný termín. Sklízí se zpravidla od listopadu do března, což může pozitivním způsobem vyrovnávat celoroční potřebu pracovních sil a mechanizačních prostředků v zemědělství (PASTOREK A KOL., 2004). Pokud se fytomasa sklízí na podzim, je potřeba jí dosušit. Materiál dostatečně suchý pro skladování by neměl obsahovat více než 20 % vody (PORVAZ A KOL., 2008).

Jak uvádí WEGER A KOL. (2012) pro sklizeň miscanthu jsou využívány různé technologie sklizně - např. přesný adapter na sklizeň kukuřice nezávislý na rozteči řádků, lis na velké balíky spojený se sekačkou aj. V Německu se ozdobnice sklízí samohodnými sekačkami Claas. Posekaný materiál se lisuje svinovacími lisy Heston a balíky se nakládají k odvozu na velkoobjemové přívěsy.

Podle PETŘÍKOVÉ A KOL. (2006) se ze sklizené slámy lisují pelety, které mají hmotnost cca 500 kg/m³. Na peletizaci se vynakládá méně než 5 % energetického obsahu ozdobnice. Pro skladování pelet je potřeba zhruba 40 m³ skladovacího prostoru na 1 sklizený hektar. Oproti tomu volně ložená řezaná sláma má nízkou objemovou hmotnost kolem 80 kg/m³, ale potřebu skladovací plochy asi 250 m³ na 1 sklizený hektar. Sklizenou slámu je možné lisovat do balíků nebo pro stavební účely sklízet celou.

2.4.8 Likvidace porostu

Při konečné likvidaci porostu ozdobnice lze použít buď chemickou nebo mechanickou metodu. Pokud je použita chemická metoda, tak se likvidují nově rašící výhonky přípravkem Roundup Bioaktiv nebo Rapid. Po chemické likvidaci však mohou nastat problémy při zakládání nové plodiny. Mechanickou metoda spočívá v rozbití a zničení oddenků půdní frézou nebo ve rozrušení rhizomů rotačním kultivátorem, což se provádí na podzim a přes zimu jsou rhizomy zničeny mrazem. Při likvidaci porostu ozdobnice je ekonomicky výhodnější oddenky vyorat, prodat je nebo využít na založení nového porostu (WEGER A KOL., 2012).

2.4.9 Povolené odrůdy

Podle údajů z roku 2014 není v seznamu odrůd zapsaných ve Státní odrůdové knize žádná odrůda nebo forma ozdobnice. V zahraničí bylo vyšlechtěno množství forem, které mají různou výšku, habitus, postavení listů na stéble, barevnost, výnosový potenciál atd. Týká se to hlavně *M. sinensis*. Mezi nejvýnosnější patří odrůdy Silberfeder, Pünktchen, Poseidon, Silberspine, Goliath (PETŘÍKOVÁ A KOL. 2006).

Tato plodina je zařazena do odsouhlaseného MŽP ČR úředního Seznamu rostlin vhodných k pěstování v podmínkách ČR za účelem využití biomasy pro energetické účely z pohledu minimalizace rizik pro ochranu přírody a krajiny, aktualizovaného III/2011 (PASTOREK A KOL., 2004).

U pěstování odrůd *M. sinensis* bylo v našich podmínkách pozorováno dozrávání semen a následné spontánní šíření rostlin do krajiny. Z tohoto důvodu je třeba dávat pozor při výběru jednotlivých odrůd a kontrolovat, zda nedošlo k nechtěnému křížení a následnému šíření do krajiny. Pro pěstování bez rizika invazního šíření rostlin do krajiny je vhodná ozdobnice čínská - *Miscanthus giganteus*. U tohoto triploidního křížence se oddenky příliš nerozrůstají a nevytváří zralá semena, která by se mohla nekontrolovatelně šířit do krajiny (STRAŠIL, 2009).

Podle PETŘÍKOVÉ A KOL. (2006) šlechtění ozdobnice bylo zatím směřováno na okrasné účely. Některé mají nevhodné vlastnosti pro velkovýrobní pěstování. Mezi současné šlechtitelské cíle patří např. šlechtění odrůd s větší odolností vůči chladu v zimě a letnímu suchu, aby byly odolnější vůči chorobám a škůdcům, aby byla rozšířena genetická variabilita a selekce na typy low-input (tzn. aby byly nenáročné na vstupy).

2.4.10 Využití produktu

Obecně lze říci, že fytohmota ozdobnice se podílí na využití přebytečné půdy pro pěstování energetických rostlin, účelné údržbě krajiny a vytváření nových pracovních místech v regionech (HAVLÍČKOVÁ A KOL., 2007). Ozdobnice je v

České republice povolena jako energetická rostlina a nejsou k jejímu pěstování výhrady pro nepříznivé vlivy na životní prostředí jako např. u křídlatky. Ozdobnice má velký potenciál ve využití v energetice na výrobu tepla - a to buď přímým spalováním, zplyňováním nebo pyrolýzou. Při všech těchto procesech lze využít technologii kogenerace - kombinované výroby elektřiny a tepla (HOLUB, 2007).

2.4.10.1 Spalování ozdobnice

Jak uvádí PORVAZ A KOL., 2008 ozdobnice čínská je perspektivní energetická rostlina určená ke spalování. V porovnání s ostatními rostlinami má podobné parametry sledovaných ukazatelů, má však podstatně vyšší produkční potenciál. Velikost energetického obsahu ozdobnice není podstatně ovlivňována hnojením, stanovištěm, ročníkem ani závlahou. Energetický obsah roste pouze s růstem výnosu (STRAŠIL, 2009).

Fyzikální vlastnosti biomasy, které je třeba sledovat, jsou výhřevnost, elementární analýza - tj. obsah vody, popela, těkavých látek a pevně vázaného uhlíku a měrná hmotnost (HAVLÍČKOVÁ A KOL, 2007). Důležitý je i obsah síry v emisích, který nepřevyšuje 0,1 % (PORVAZ A KOL, 2007).

Hodnota spalného tepla se pohybuje kolem 19 GJ/t sušiny. Výhřevnost fytomasy je závislá hlavně na obsahu vody. Při obvyklé sklizňové vlhkosti (cca 20%) je výhřevnost 16 GJ/t. Pro srovnání výhřevnost hnědého uhlí je 12 - 15 GJ/t. Porovnání výhřevnosti ozdobnice s fosilními palivy je uvedeno v následující tabulce (Tab. II).

Tab. II: Výhřevnost jednotlivých druhů fosilních paliv (upraveno dle PORVAZ A KOL., 2008).

Druh paliva	Výhřevnost
Zemní plyn	33,5 MJ/m ³
Hnědé uhlí	15 MJ/kg
Černé uhlí	26,0 MJ/kg
Ozdobnice čínská	18,0 MJ/kg

Srovnáme-li spalné teplo ozdobnice a různých rostlin, můžeme říct, že ozdobnice má podobné hodnoty. Její výhodou je její vysoká schopnost produkce

sušiny/ha. V Tab. III. jsou uvedené hodnoty spalného tepla ozdobnice a dalších rostlin.

Tab. III. : Spalné teplo u různých rostlin (upraveno dle SOUČKOVÁ A KOL., 2006 a PORVAZ A KOL., 2008).

Plodina (100 % sušina)	Spalné teplo MJ/kg
Ozdobnice	18,86
Amaranthus	16,16
Konopí seté	18,06
Koriandr	18,88
Křídlatka	19,44
Len - sláma	18,58
Lnička	18,84
Růže (Rosa sp. R-03)	16,24
Řepka ozimá - sláma	17,48
Hyso	18,06

Obsah prvků je důležitý z hlediska spalování biomasy. Pro spalování je výhodný co nejnižší obsah dusíku ve fytomase, protože se pak tvoří méně oxidů dusíku, co nejnižší obsah síry a chloru, čímž se snižuje pravděpodobnost koroze spalovacího zařízení a také nízký obsah draslíku a hořčíku, protože se snižuje teplota tání popele (STRAŠIL 2009). Tabulka IV. zobrazuje výhřevnost, obsah popelovin, těkavých látek a jednotlivých prvků u ozdobnice. Pro srovnání jsou tytéž parametry uvedené pro slámu obilovin, která je taktéž používána k přímému spalování.

Tab. IV.: Porovnání parametrů výhřevnosti a některých prvků ozdobnice a slámy obilovin (upraveno dle KIRSTENSEN, 1994).

Plodina	Výhřevnost (MJ/kg)	Popeloviny (%)	Těkavé složky (%)	Síra (%)	Uhlík (%)	Vodík (%)	Dusík (%)
Ozdobnice	15,8 - 17,1	2,6	69,7	0,11	41,5	5,4	0,5
Sláma obilovin	15,2 - 18,4	4	70	0,16	42	5	0,4

Obsah dusíku v ozdobnici klesá se stářím rostliny a termínem sklizně. Nejnižší obsah dusíku je při sklizni nadzemní fytomasy po zimním období. Se stářím

rostliny a oddálením termínu sklizně klesá kromě obsahu dusíku také obsah dalších prvků ve fytomase (KÁRA, 2005).

Energetický obsah fytomasy se mění také s obsahem vody ve fytomase, který je závislý na stáří rostliny a termínu sklizně. Po zimě bývá vlhkost v rostlinách nižší, vlivem mrazů, než při podzimní sklizni (HAVLÍČKOVÁ A KOL., 2007).

LEWANDOWSKI A KOL. (1995) ve své práci píše, že koncentrace vody, minerálů a popele byla vyšší v biomase ozdobnice z chladnější a vlhčí lokality než v biomase z teplejší lokality. Aplikace draselných hnojiv vede ke zvýšení draslíku v popeli. Sklizeň brzy na jaře, v porovnání se sklizní na podzim vede ke zvýšení kvality biomase, protože koncentrace popele, minerálů a zvláště vody je nižší.

Popel ze spálené fytomasy ozdobnice je možné použít jako hnojivo. Popel ze dřeva se doporučuje použít jednou za 3 roky v dávce maximálně 8 t/ha. Popel z ozdobnice a dalších zemědělských plodin je zdrojem hlavně draslíku a fosforu a má nižší množství těžkých kovů (Tab. V) (HASLER A KOL., 1998).

Tab. V: Průměrný obsah prvků v popeli při spalování různé biomasy (upraveno dle HASLER A KOL., 1998).

Prvek	Jednotka	Popel získaný při spalování:		
		Ozdobnice	Slámy obilnin	Dřeva
P	g/kg	19	12	9,4
Cl	g/kg	2	3,7	-
Ca	g/kg	51	52	321
Mg	g/kg	17	13	27
K	g/kg	129	132	66
Pb	mg/kg	13	2	18
Cd	mg/kg	0,9	0,5	2,2
Cu	mg/kg	65	57	210
Mo	mg/kg	8,3	7,4	4,5
Zn	mg/kg	100	25	380
Mn	mg/kg	1940	440	7850

Fytomasa se obvykle spaluje v kotelnách o výkonu 5 - 45 kW (kotle nízkých výkonů pro rodinné domky a objekty s tepelnou ztrátou do 50 kW), 45 - 5000 kW (kotle vysokých výkonů např. pro obecní spalovny). V závislosti na výkonu kotle je

dodáván energetický produkt- hranolové balíky, řezanku, brikety, pelety nebo otepi (PETŘÍKOVÁ A KOL., 2006).

Jak píše SCHWARZ (1994) spalování ozdobnice v kotlích je stabilnější než např. spalování pšeničné slámy. Balíky suché ozdobnice jsou pórovitější, což dává větší možnost průchodu vzduchu mezi silnými stébly při spalování. Obsah popela je u ozdobnice menší než u obilné slámy. Obsah popela u tři roky starého porostu miscanthu je 2 - 3 %.

COLLURA A KOL. (2006) spaloval brikety a slámu miscanthu v 25 kW a 60 kW kotlích. Z jeho experimentů vyplývá, že emise SO₂, NO_x a celkový organický uhlík, které vznikají při spalování, odpovídají evropským standardům EN 303-5 pro kotle na biomasu. Dále uvádí, že výhřevnost je podle naměřených údajů 17,744 MJ/kg.

Negativním jevem při používání biopaliv vytvořených z ozdobnice je nízká teplota tavení fytoomas, čímž dochází ke spékání popele. To může být problém u kotlů při automatickém provozu. Možným řešením je použití ozdobnice ve směsném biopalivu s jiným materiálem, ať již s fytoomasou nebo např. s uhelnými aditivami. Dále nebyly zjištěny podstatné rozdíly v emisích CO při spalování ozdobnice sklizené na jaře a na podzim. Výrazně však byly nižší emise NO_x při spalování fytoomas z jarní sklizně. (WEGER A KOL., 2011).

2.4.10.2 Další využití ozdobnice

Jak ve své práci uvádí MENARDO A KOL. (2012), ozdobnice je používána na výrobu bioplynu, který slouží jako zdroj elektrické energie, tepla a zdroj CO₂, pro skleníky ve Španělsku, Itálii, Nizozemsku a Francii. Problém však představuje složitá struktura lignocelulolitické biomasy, ta musí být nejprve předzpracována tak, že je na rostlinný materiál určitou dobou pouštěna pára o teplotě 180 - 220 °C. Využití miscanthu pro produkci bioplynu však není efektivní. Energetická výtěžnost není vysoká. Ozdobnice se proto hodí spíše na spalování (WEGER A KOL., 2012).

Další potenciál miscanthu je ve výrobě bioethanolu. Při pokusech ve výzkumném ústavu v Německu bylo tepelně-tlakovou hydrolýzou dosaženo výroby

kolem 6000 l/ha bioethanolu (HOLUB, 2007). Při pokusech v USA bylo zjištěno, že z výměry 11,8 milionů hektarů ozdobnice je možné vyprodukovat 35 miliard galonů bioethanolu za rok. Pro srovnání, k vyprodukování tohoto množství bioethanolu by bylo potřeba 18,7 milionů hektarů kukuřice nebo 33,7 milionů hektarů prosa prutnatého (HEATON A KOL., 2008).

PETŘÍKOVÁ A KOL. (2006) uvádí další využití ozdobnice. Je vhodná např. pro výrobu buničiny, protože má vysoký obsah celulózy - okolo 40 %. PAPTĚOFANOUS A KOUKIS (1996) udává, že obsahuje dokonce 43,1 % celulózy. (Tab. VI).

Tab. VI: Obsah celulózy, hemicelulózy, ligninu a popele v ozdobnici (PAPTĚOFANOUS A KOUKIS, 1996).

Látka	Celulóza	Hemicelulóza	Lignin	Popel
Množství (% váhy k celkové váze)	43,1	26,7	22,1	3,9

Dále je možné ji použít pro výrobu materiálů pro stavební průmysl - např. pro výrobu dřevovláknitých desek, dřevitých lepenek, rohoží nebo došků. Další možností je výroba snadno a ekologicky likvidovatelných obalových materiálů. V případě nouze lze mladý porost ozdobnice použít jako pícninu. Porost ozdobnice zůstává na poli přes zimu, a proto zabraňuje erozi, krajina není tak pustá a poskytuje plochy pro úkryt živočichů.

2.4.11 Výnosový potenciál

2.4.11.1 Faktory ovlivňující výnosy

Celková výnosnost je součin celkové solární radiace dopadající na jednotku plochy země, schopnost přijmout dopadající světlo a přeměnit ho na nadzemní biomasu (DOHLEMAN A LONG, 2009). Velikost výnosů má důležitý vliv na celkovou rentabilitu pěstování energetických plodin. Podle PETŘÍKOVÉ A KOL. (2006) lze energetické trávy charakterizovat jako nenáročné. Zároveň ale upozorňuje

na fakt, že to nejsou plodiny bezúdržbové nebo plevelné. Jako ostatní plodiny potřebují určitou péči, ochranu před patogeny, dostatečný přísun přístupných živin, předseťovou přípravu pozemku, správné založení porostu, atd.

Výnosy ozdobnice jsou závislé na řadě faktorů jako jsou např. půdně-klimatické podmínky stanoviště, vybraný klon, agrotechnická opatření, včetně hustoty výsadby a hnojení, termín sklizně atd.

V prvních letech po výsadbě ovlivňuje výnosy fytomasy také kvalita sazenic. Ty, které byly předpěstovány a ponechány přes zimní období ve skleníku, jsou mohutnější a zajišťují vyšší výnosy v následujících letech po výsadbě (STRAŠIL 2009).

Na výnosy má zásadní vliv hnojení dusíkem. Podle údajů WEGERA A KOL. (2012) má hnojení dusíkem příznivý vliv na zvyšování výnosů fytomasy (Tab. VII). Dusík byl na jaře jednorázově dodáván ve formě průmyslových hnojiv. Z tabulky je patrné, rozdíly ve výnosu sušiny fytomasy z hektarů byly výrazné už při dávce 50 kg N/ha, kromě pokusné lokality v Lukavci u Pacova, kde je chladnější počasí. Tam se zvýšení výnosů projevilo až při dávce 100 kg N/ha.

Tab. VII.: Vliv hnojení dusíkem na výnosy sušiny nadzemní fytomasy ozdobnice (t/ha) sklizené na podzim na vybraných stanovištích (průměr let 2001-2004) (WEGERA A KOL., 2012).

Stanoviště	N0	N1	N2	Průměr
Lukavec (t/ha)	11,224	11,718	15,697	13,046
Ruzyně (t/ha)	22,56	30,128	31,118	27,935
Troubsko (t/ha)	21,772	22,998	23,119	22,511
Průměr	18,519	21,615	23,311	21,164

N0 = 0 kg/ha, N1=50 kg/ha, N2=100 kg/ha

Jak ve své práci uvádí BEHNKE A KOL. (2012), při vyšších dávkách N (nad 100 kg/ha) již nedochází k podstatnému nárůstu fytomasy.

Dalším faktorem ovlivňující výnosy je termín sklizně. Fytomasa ozdobnice se sklízí buď na podzim nebo v předjaří. Sklizeň v předjaří má oproti podzimní sklizni výhodu v tom, že fytomasa má nižší vlhkost, a proto není třeba jí dále dosušet. Na druhou stranu jsou zde ztráty listové hmoty způsobené opadem listů a

jinými ztrátami. Je otázkou, zda může případné dosoušení na podzim z ekonomického hlediska vyvážit ztrátu fytohmoty. Podle PETŘÍKOVÉ A KOL. (2006) je lepší sklízet ozdobnici na jaře. Přitom by se nemělo pouštět ze zřetele, že opad má i příznivé funkce. Například působí jako mulč, který chrání půdu před erozí, zabraňuje na jaře růstu plevelů a v neposlední řadě dochází k vyluhování části živin z opadu. Oproti jiným rostlinám, např. čirokům, má ozdobnice výhodu, že přes zimu běžně nedochází k poléhání porostu, což by ztěžovalo sklizeň.

2.4.11.2 Výnosy ozdobnice v evropských zemích

Teoretická hodnota potenciálního výnosu se pohybuje od 27 t sušiny/ha v Irsku, Skotsku a Skandinávii, do 59 t sušiny/ha ve Středomoří. Praktické výnosy jsou, i když je dodržena optimální agrotechnika, nižší. Důvodem je hlavně to, že porost není aktivní po celý rok, a tak je využito pouze asi 80 % záření, a také to, že plodina nemá většinou dostatek vody během vegetace (WEGER A KOL., 2012).

LEWANDOWSKI A KOL., (2003) uvádí ve své práci průměrné výnosy *miscanthu* v jednotlivých státech Evropy (Tab. VIII.). Podle těchto údajů je patrné, že větší výnosy jsou ve státech jižní Evropy, kde je teplejší klima. K dosažení těchto výnosů je však nezbytný zavlažovací systém. Pro státy střední a severní Evropy, kde je nižší průměrná teplota a méně slunečního záření, jsou průměrné výnosy 10 - 25 tun sušiny na hektar.

Tab. VIII.: Průměrné výnosy ozdobnice čínské v jednotlivých státech Evropy (LEWANDOWSKI A KOL., 2003).

Stát	Výnosy (t sušiny/ha)
Dánsko	5 - 15
Německo	4 - 30
Velká Británie	10 - 15
Švýcarsko	13 - 19
Rakousko	22
Španělsko	14 - 34
Řecko	26 - 44
Turecko	28
Itálie	30 - 32

2.4.11.3 Výnosy ozdobnice v České republice

Miscanthus je nejekonomičtější plodina ve střední Evropě v poměru vložené energie na pěstování a sklizeň k výnosu energie ze získané hmoty. Následující tabulka znázorňuje poměr k jiným rostlinám (HOLUB, 2007).

Tab. IX: Porovnání energie vložené a získané u různých druhů rostlin (HOLUB, 2007).

Rostlina	Energie input (MJ/ha)	Energie output (MJ/ha)	Porovnav. Faktor
Miscanthus	9 223	300 000	32,53
RRD dřeviny	6 003	180 000	29,99
Konopí	13 298	112 000	8,46
Oves	21 465	189 338	8,82
Řepka	19 390	72 000	3,71

Podle HAVLÍČKOVÉ A KOL. (2007) se ozdobnice v našich podmínkách v prvním roce (rok výsadby) nesklízí, v druhém roce dává do 10 t sušiny na hektar, v třetím roce a dalších to bývá okolo 20-25 t sušiny na hektar, při intenzivním hospodaření i více než 30 t sušiny na hektar. LEWANDOWSKI A KOL. (2003) uvádí pro oblast střední a severní Evropy průměrné výnosy 10-25 t sušiny na hektar.

Tabulka X. uvádí průměrné výnosy jednotlivých energetických rostlin, jejich energetický obsah a energetickou výtěžnost. Z tabulky je patrné, že ozdobnice při srovnání s ostatními plodinami, dosahuje vysokých výnosů a má poměrně vysoký energetický obsah.

Tab. X: Průměrný výnos, výhřevnost a energetická výtěžnost energetických plodin (STRAŠIL, 1994).

Plodina	Průměrný výnos (t/ha)	Výhřevnost (MJ/kg)	Energetická výtěžnost (GJ/ha)
Ozdobnice čínská	15,00	17,887	268,3
Konopí	10,52	18,060	190,0
Hyso	10,66	17,657	188,2
Čirok zrnový	5,78	17,633	101,9
Čirok cukrový	11,48	17,599	201,9
Křídlatka	20,43	19,444	397,2
Slunečnice	8,31	16,700	138,8
Len (sláma)	3,78	18,580	70,2
Koriandr	5,14	18,882	97,0
Řepka ozimá (sláma)	4,74	17,484	82,8
Lnička	4,71	18,840	88,9
Porovnání:			
Sláma obilnin	4,50	15,200	68,4
Hnědé uhlí		8 - 12	

3. Cíle a hypotézy

Cílem práce je sledovat výnosový potenciál ozdobnice čínské a na základě dostupných literárních dat posoudit vhodnost jejího využití v oblasti fytoenergetiky.

Dílčí cíle

- 1) Sledování výnosových parametrů ozdobnice čínské na polních pokusech, probíhajících na experimentálním pozemku Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.
- 2) Vyhodnocení produkční schopnosti ozdobnice čínské na základě dat získaných vlastními zjištěními a studiem odborné literatury.
- 3) Zhodnocení vhodnosti využití ozdobnice čínské ve fytoenergetice.

Hypotézy

- 1) Při jarním termínu sklizně bude, kvůli ztrátám v zimním období, zjištěn nižší výnos suché hmoty, než při odběru vzorků na podzim.
- 2) Energetická výtěžnost rostliny *Miscanthus giganteus* je vyšší při přímém spalování než při použití na výrobu bioplynu.

4. Materiál a metodika

Praktická část diplomové práce probíhala na experimentální lokalitě Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Náplní práce bylo sledování výnosového potenciálu energetické rostliny ozdobnice čínské (*Miscanthus giganteus*), jejíž porosty byly na pokusném pozemku založeny.

4.1 Charakteristika porostů a popis agrotechnických operací

Na lokalitě se nacházejí tři parcely s porostem ozdobnice, lišící se rozponem odkopků při výsadbě, či termínem založení porostu. Odkopky, z kterých byl porost vysázen, byly získány z již plně zapojeného porostu v Lukavci u Pacova.

V první variantě (Porost 1) byly odkopky ozdobnice sázeny do řádků o vzdálenosti 1 m, vzdálenost jednotlivých odkopků v řádku byla 0,5 m. Odkopky v Porostu 2 byly sázeny do pravidelného rozponu 1 x 1 m. Tyto dvě varianty byly založeny 22. 4. 2013. Plocha každé varianty činila 50 m².

Předchozí rostlinou na tomto pozemku byla lesknice rákosovitá (*Phragmites australis* L.), jež byla na podzim 2012 zaorána společně s chlévským hnojem v dávce 40 t/ha. V mladém porostu ozdobnice se vyskytovaly dvouděložné plevele, proti nimž byl 7. 6. 2013 aplikován herbicid Starane. 8. 8. 2013 byly v meziřádcích ozdobnice znovu zlikvidovány plevele, tentokrát mechanicky. Porost byl poprvé posečen 8. 4. 2014 při současném zjištění výnosu.

Dále byl založen Porost 3. Odkopky byly sázeny ve stejné hustotě jako v Porostu 1, řádky od sebe byly tedy vzdáleny 1m a vzdálenost mezi jednotlivými odkopky při výsadbě činila 0,5 m. Tato varianta byla ovšem založena zhruba o rok déle, než varianty předchozí. Jedná se tedy o porost mladší. Vysázen byl 15. 5. 2014 na celkové rozloze 100 m². Předplodinou byla svazenka vratičolistá, která sloužila jako zelené hnojení. 19. 5. 2014 byl na všechny varianty porostů ozdobnice aplikován herbicid Starane proti dvouděložným plevelům.

30. 9. 2014 se provedl zkušební odběr vzorků za účelem zjištění výnosů a obsahu sušiny. Dále se část hmoty z Porostu 2 rozsekala a zasilážovala do skleněné lahve, jež byla později odeslána do laboratoře pro zjištění výtěžnosti metanu.

K celkové seči všech Porostů došlo 18. 3. 2015. Opět byl zjišťován výnos hmoty a obsah její sušiny.

4.2 Metodika odběru vzorků, stanovení sušiny a výnosu

Vzorky pro zjištění výnosnosti byly odebírány celkem třikrát. Prvním termínem bylo jaro 2014 (8. 4.). V jarních termínech se sklízí porosty ozdobnice pro účely spalování, jelikož v tomto období obsahují nejnižší obsah vody. Sklizeň miscanthu jako substrátu pro bioplynové stanice se provádí zpravidla dvakrát do roka. Nejprve zhruba v červnu a poté koncem léta. První sklizeň nebyla z důvodu mládí porostu provedena, a tak došlo k odběru až 30. 9. 2014. Poslední kontrolní odběr byl uskutečněn opět v jarním termínu (18. 3. 2015).

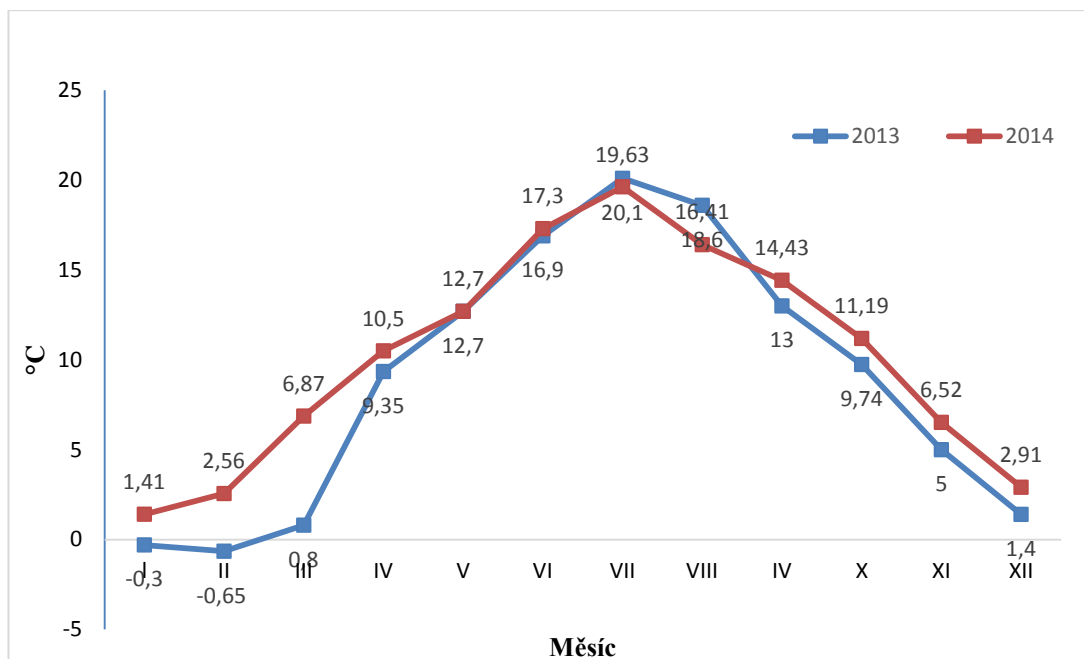
Samotný odběr byl vždy proveden posečením vzorku z plochy 5 m², výška ponechaného strniště činila zhruba 5-10 cm. Získaná hmota byla zvážena ihned po posečení. Následně byla biomasa vysušena v peci určené pro sušení fytohmoty a opět zvážena. Ze získaných dat byl pomocí přepočtů získán obsah sušiny v biomase a také teoretický výnos čerstvé a suché hmoty z plochy 1 hektaru.

4.3 Sledování výšky porostu

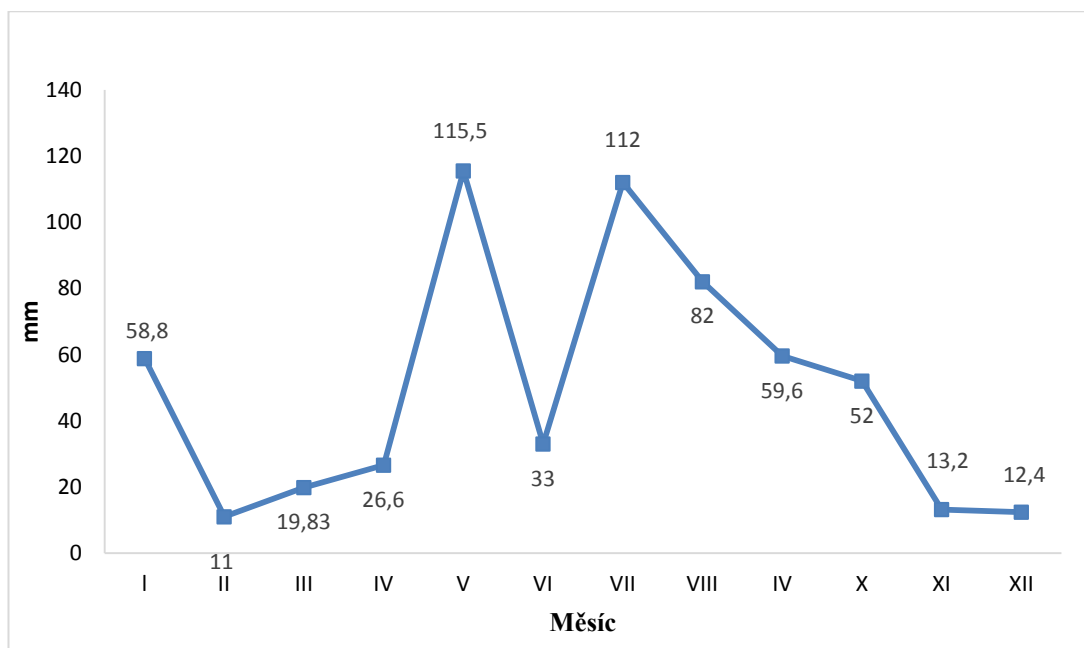
Výška porostů byla měřena v pravidelných měsíčních intervalech. Vždy se změřilo 10 náhodně vybraných jedinců v daném porostu a průměrná hodnota jejich výšky byla zaznamenána. Porosty 1 a 2 byly měřeny v od dubna do října 2014 a poté v březnu 2015, kdy byl porost dostatečně proschlý a vhodný pro sklizeň na spalování. Porost 3 byl z důvodů předchozí výsadby (15. 5. 2014) měřen až od července 2014, také do října 2014 a poté v březnu 2015.

4.4 Vývoj počasí v průběhu sledování porostu

V následujících grafech je zobrazen průběh vývoje teplot za rok 2013 a 2014 (Obr. 3) a také množství srážek v roce 2014 (Obr. 4). Data byla zaznamenána meteorologickou stanicí umístěnou přímo na pozemku Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, kde pokusy probíhají.



Obr. 3: Průměrné měsíční teploty za rok 2013 a 2014 v Českých Budějovicích.

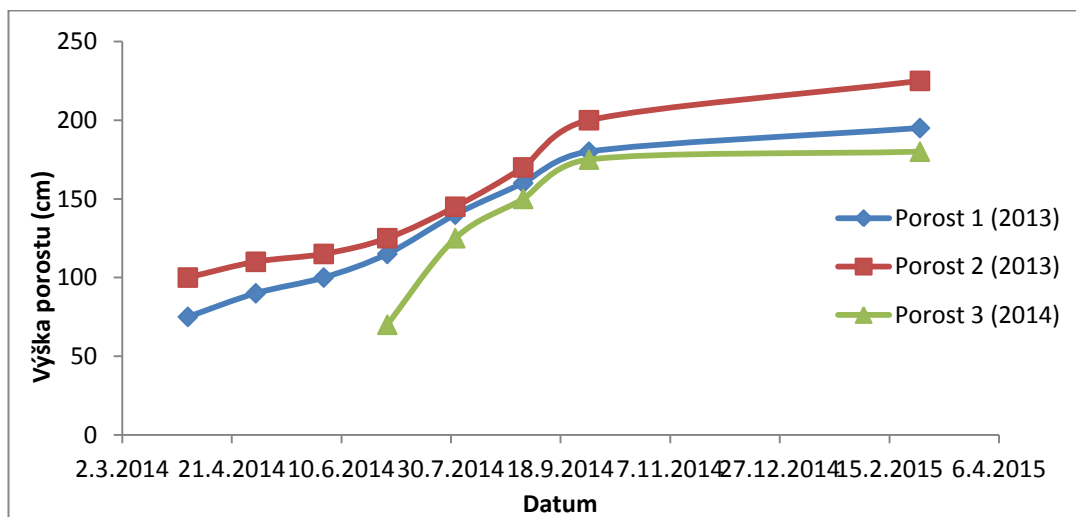


Obr. 4: Měsíční úhrn srážek v Českých Budějovicích v roce 2014.

5. Výsledky a diskuze

5.1 Výška nadzemní biomasy

Jednotlivé porosty ozdobnice na pokusné lokalitě v Českých Budějovicích byly měřeny dle výše popsané metodiky. Průměrná výška porostů je zaznamenána na Obr. 5.



Obr. 5: Výška porostu ozdobnice na pokusné lokalitě.

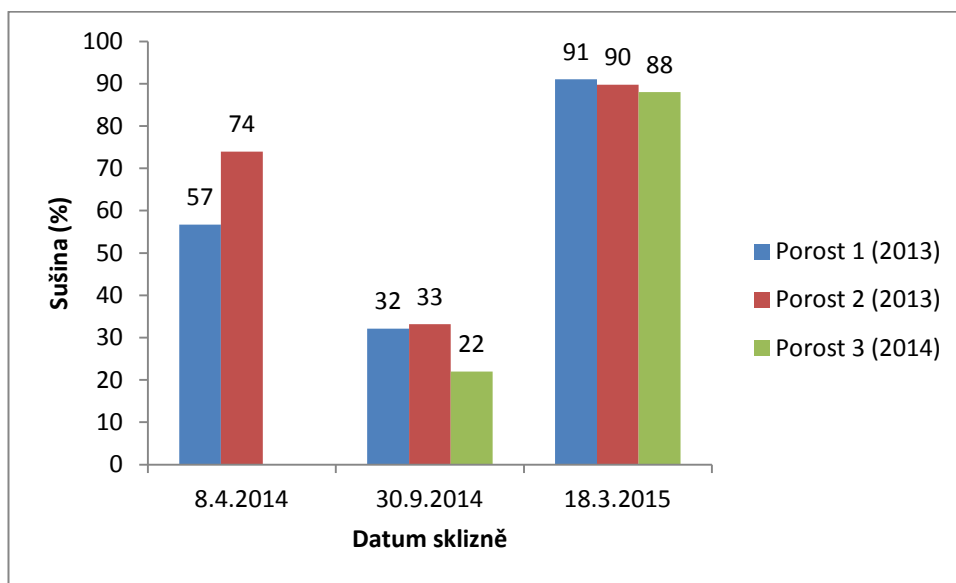
Z grafu je patrné, že porost dorostl výšky cca 2 m, nejvyšší byl Porost 2, který dosáhl výšky 2,25 m. Rostliny na pokusné lokalitě se nacházely prvním (Porost 3) a druhým rokem (Porost 1 a 2) a ještě nedosáhly plné zralosti. Předpokládá se, že rostliny by v roce 2015 a v následujících letech měly mít větší výšku.

Jak uvádí WEGER A KOL. (2011) rostliny na pokusné lokalitě v Lukavci a v Průhonicích měly výšku v prvním roce 0,47 - 0,57 m. V druhém roce dosáhly výšky 1,74 - 2,34 m. Třetím rokem měl porost miscanthu výšku 2,09 - 3,02 m. Ve čtvrtém roce bylo dosaženo v průměru 3,01 m v Průhonicích a 2,58 m v chladnějším Lukavci. Výška rostlin je závislá nejen na stáří porostu, ale také na průběhu počasí v daném roce. Významná je především teplota, množství a rozdělení srážek během vegetační sezóny.

5.2 Výnosové parametry

5.2.1 Obsah sušiny v biomase

Vzorky na stanovení sušiny v biomase byly na pokusné lokalitě odebrány celkem třikrát. Z výsledků byl sestaven následující graf (Obr. 6). U Porostu 3, který byl založen až na jaře 2014, byl vzorek poprvé odebrán až 30. 9. 2014.



Obr. 6: Obsah sušiny v biomase ozdobnice na pokusné lokalitě.

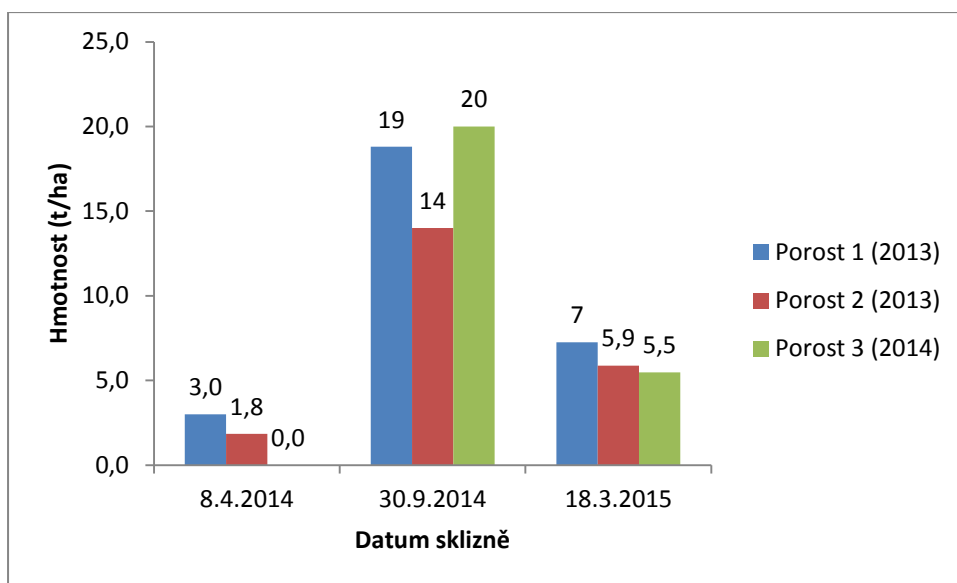
Obsah sušiny se zásadně lišil v různých obdobích. Při první jarní sklizni byl obsah sušiny v biomase 57 a 74%, což bylo dáno mládím porostu, i pouhým pohledem se dal pozorovat poměrně vysoký obsah vody v rostlinách. Dalším faktorem, jenž mohl obsah vody ve vzorku ovlivnit, byl výskyt plevelů, které byly sklizeny společně s rostlinami ozdobnice. Obecně platí, že obsah vody se snižuje se stářím rostlin a je ovlivněn (pokud jsou rostliny sklizeny až na jaře) také zimními mrazy, které rostliny vysuší. Z tohoto důvodu je vhodnější sklízet porost ozdobnice, pro účely spalování, po zimě, protože není nutné dosoušení. V termínu sklizně 30. 9. 2014 byl obsah sušiny v Porostech 1 a 2 ideální pro sklizeň na bioplyn (32 a 33%), mladší Porost 3 obsahoval více vody. Toto tvrzení podporuje například SOUČKOVÁ A KOL. (2006). Podle ní je ideální obsah sušiny 25-40%. Při poslední provedené sklizni (18. 3. 2015) již vykazovaly všechny Porosty vysoký obsah sušiny (91, 90, 88%). Protože má ozdobnice na jaře vysoký obsah sušiny 57 - 91 % můžeme říct, že

je její fytomasa vhodná k přímému spalování, což potvrzuje ve své práci WEGER A KOL. (2012).

Údaje o množství sušiny v době jarní sklizně jsou však v rozporu s tvrzením PETŘÍKOVÉ (2006), která ve své práci píše, že množství sušiny ozdobnice v jarním období je 62 - 78 %. Podle STRAŠILA (2009) byly průměrné hodnoty obsahu sušiny ozdobnice na pokusné lokalitě v Ruzyni na podzim 50 % a na jaře 76 %.

5.2.2 Hmotnost získané čerstvé hmoty

Údaje o množství čerstvé hmoty byly získány celkem třikrát, odběr proběhl ve shodných termínech, kdy byl určován obsah sušiny v rostlinném materiálu. Získané hodnoty jsou uvedené v Obr. 7.



Obr. 7: Hmotnost získané čerstvé hmoty ozdobnice na pokusné lokalitě.

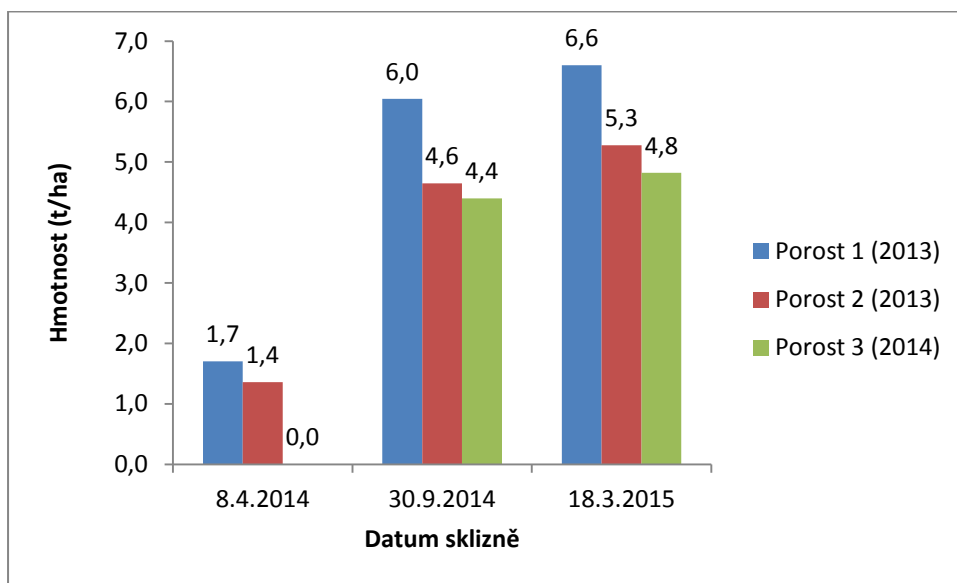
U Porostu 3, který byl dodatečně založen až na jaře 2014, byla zjišťována hmotnost čerstvé hmoty až 30. 9. 2014.

Největší hmotnost čerstvé hmoty byla zjištěna 30. 9. 2014 u Porostu 3, která dosahovala 24 t/ha. Hmotnost získané čerstvé hmoty byla výrazně vyšší u vzorků, které byly odebírány 30. 9. 2014, než u vzorků, které byly odebírány na jaře.

5.2.3 Hmotnost získané suché hmoty.

Po zjištění množství čerstvé hmoty ve vzorcích byl ve stejných termínech následně stanoven i obsah sušiny. Z této hodnoty byl přepočítán výnos suché hmoty na 1 hektar. Dosažené výnosy jsou uvedené v Obr. 8.

Výše dosažených výnosů jsou graficky znázorněné v Obr. 6.



Obr. 8: Hmotnost získané suché hmoty ozdobnice na pokusné lokalitě.

Výnosy na jaře 2014 byly velice nízké, což se přičítá mládí porostů. Podle STRAŠILA (2009) může v prvním roce po výsadbě dojít k částečnému vymrznutí založeného porostu. Průměrný výnos z Porostů 1 a 2, které byly na pokusné lokalitě druhým rokem, byl 1,5 t/ha.

Vyšší, avšak ne uspokojivé výnosy byly dosaženy v dalších dvou termínech seči. Na podzim 2014 dosáhly porosty následujících výnosů: Porost 1 měl 6 t/ha, Porost 2 měl 4,6 t/ha, Porost 3 měl 4,4 t/ha. Při následující seči (jaro 2015) byly zjištěny výnosy vyšší (Porost 1 – 6,6 t/ha, Porost 2 – 5,3 t/ha, Porost 3 – 4,8 t/ha). Nepotvrdila se tak hypotéza č. 1, tedy, že výnos při sklizni na jaře bude nižší, než výnos při sklizni na podzim. Stalo se tak pravděpodobně v důsledku teplého podzimu a mírné zimy, kdy ještě rostliny miscanthu mohly přirůstat. Ani ztráty opadem, o kterých pojednává například STRAŠIL (2009), nebyly pravděpodobně vysoké. O teoretických zimních ztrátách se zmiňují i LEWANDOWSKI A KOL. (2000), kteří

sledovali výnosové ztráty fytohmoty v různých termínech sklizně. Při únorovém termínu sklizně byly ztráty fytohmoty 14 - 15 %, při březnovém termínu sklizně dalších 13 % v porovnání s prosincovým termínem. Třicetiprocentní ztráty udává HIMKEN A KOL. (1997). Pro jižní Evropu jsou dokonce ztráty sušiny při jarní sklizni 30 - 50 % v porovnání se sklizní na podzim (LEWANDOWSKI A KOL., 2000).

Rostliny se na pokusné lokalitě nacházely prvním (Porost 3) a druhým rokem (Porost 1 a 2) a ještě nedosáhly plného zapojení. Dá se však předpokládat, že výnosy budou v příštích letech vyšší. Jak píše ve své práci WEGER A KOL. (2011) výnosy ozdobnice čínské na pokusných lokalitách v Lukavci a Průhonicích v průběhu experimentu postupně stoupaly až do 3 roku. V Lukavci byl průměrný výnos za čtyři sklizně 6,46 tun sušiny/ha za rok a v Průhonicích 6,63 t sušiny/ha za rok.

Následující tabulky porovnávají výsledky výnosů na pokusné lokalitě v Ruzyni (průměr let 1996 - 2001) a v Českých Budějovicích.

Tab. XI: Průměrné výnosy čerstvé hmoty, sušiny fytohmoty a vlhkost při sklizni ozdobnice na podzim a na jaře v Ruzyni (1996 - 2001) (STRAŠIL 2009).

Na podzim			Na jaře		
Výnos		Vlhkost (%)	Výnos		Vlhkost (%)
č.h. (t/ha)	sušina (t/ha)		č.h. (t/ha)	sušina (t/ha)	
31	15,5	50	15,25	11,7	24

Pro srovnání je vytvořena tabulka, která zobrazuje parametry stejných sledovaných údajů, ale je z pokusné lokality v Českých Budějovicích. Hodnoty výnosů a vlhkosti při sklizni jsou průměrem ze tří porostů (Porost 1, 2 a 3).

Tab. XII: Průměrné výnosy čerstvé hmoty, sušiny fytomasy a vlhkost při sklizni ozdobnice na podzim a na jaře v Českých Budějovicích.

Na podzim 30. 9. 2014			Na jaře 18. 3. 2015		
Výnos		Vlhkost (%)	Výnos		Vlhkost (%)
č.h. (t/ha)	sušina (t/ha)		č.h. (t/ha)	sušina (t/ha)	
18	5	71	6	5,6	10

Jak uvádí PETŘÍKOVÁ A KOL. (2006) polní pokusy s ozdobnicí probíhaly v VÚRV Ruzyni, Troubsku a Lukavci. Upozorňují však, že sázené odkopky byly velice slabé. Na stanovišti v Ruzyni v roce výsadby byl dosažen výnos sušiny 0,54 t/ha, ve druhém roce 5,04 t/ha a ve třetím roce 10,59 t/ha. V následujících letech 1997-2001 bylo v Ruzyni dosaženo průměrných výnosů sušiny sklizené nadzemní fytomasy 20,4 t/ha, v Troubsku 19,9 t/ha. Ukázalo se také, že chladné stanoviště v Lukavci nevytváří vhodné teplotní podmínky pro teplomilnější ozdobnici.

Na výnosy plodiny má kromě jiného vliv průběh počasí. SCHWARZ A KOL. (1994) zkoumal, jak ovlivňují teploty vzduchu během vegetace výnosy fytomasy. Ty byly redukovány, pokud průměrné měsíční teploty vzduchu od května do října byly menší než 13,5 °C, zatímco větších výnosů se dosáhlo při průměrných teplotách vzduchu vyšších než 15 °C a srážkách vyšších než 400 mm.

Na lokalitě v Českých Budějovicích ani jinde v ČR se zatím žádné pokusy se závlahou ozdobnice neuskutečnily. V zemích na jihu Evropy je však nutné miscanthus zavlažovat. Podle ERCOLI A KOL. (1999) bylo při závlaze v Itálii dosaženo průměrného výnosu 37 t/ha sušiny a v Portugalsku 40,9 t/ha sušiny (CLIFTON-BROWN A KOL., 2001).

5.3 Stanovení výtěžnosti bioplynu

Odběr vzorků proběhl 30. 9. 2014 z Porostu 2. Fytomasa byla rozřezána a s pomocí přípravku SILA-BAC zasilážována do skleněné lahve o objemu 3,7 l

(objemová hmotnost 484 kg/m³). Analýzu následně provedla a výsledky zpracovala chemická a mikrobiologická laboratoř Ing. Josefa Němce z Písku.

Testovaný vzorek ozdobnice byl přidán k připravenému vzorku inokula. Inokulum bylo vyrobeno z digestátu fermentoru bioplynové stanice, u kterého je jistota, že funguje tzv. normálně - nevykazuje abnormální hodnoty kyselin, snížené pH apod. Byl použit digestát fermentorů různých bioplynových stanic, kde se využívá různá výživa bakterií, tedy kukuřice, trávy, hovězí kejda apod. Před použitím byl digestát scezen sítím s oky průměry 2 mm a minimálně týden inkubován v lázni při teplotě 40 °C.

Zhomogenizovaný vzorek ozdobnice byl přidán do takto připraveného inokula a byl v anaerobním prostředí inkubován při teplotě 40 °C. Plyn byl jímán do speciální baňky se stupnicí, kde se odečítaly výsledky. Cestou do této baňky plyn probublával přes roztok NaOH, kde se zachytil oxid uhličitý. Výsledkem je produkce metanu s malou chybou vzniklou vlivem minoritních plynů nezachycených v hydroxidu. Množství těchto plynů se pohybuje souhrnně do 2 %. Inkubovalo se do úplného vyčerpání potenciálu substrátu - tzn. 37 dní. Současně probíhaly dva testy - Test 1 a Test 2.

Jako slepý vzorek bylo použito samotné inokulum. Množství plynu vyprodukovaného tímto slepým testem bylo odečteno od výsledků substrátu.

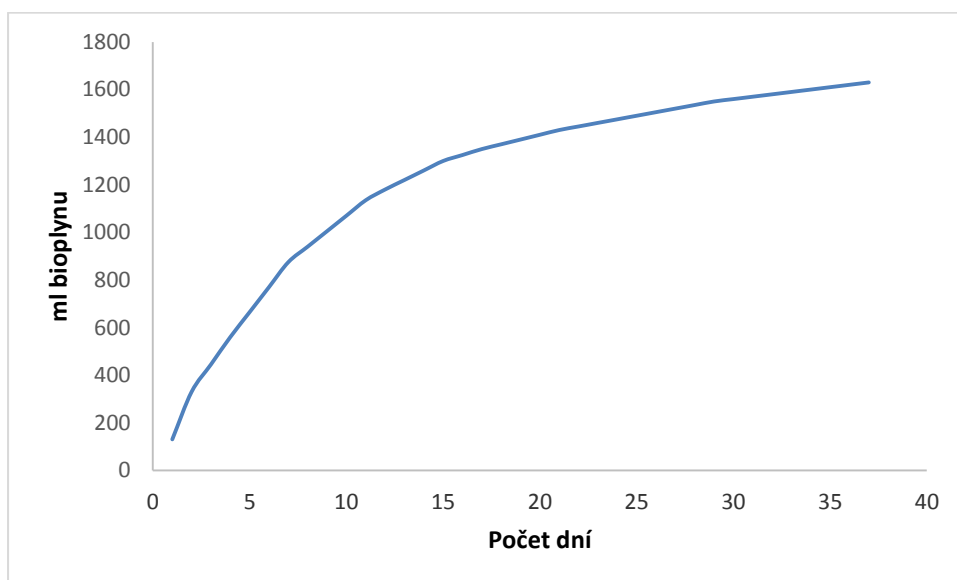
Výsledky testů vývinu metanu zobrazuje následující tabulka.

Tab. XIII: Výsledky testů produkce metanu.

	Test 1	Test 2
l metanu/kg vzorku	72,5	78
l metanu/kg sušiny	348	374
l metanu/kg organické sušiny	419	451

Odchytky ve výsledcích Testů 1 a 2 jsou malé, z čehož můžeme usuzovat, že testy byly provedeny správně. Pro další výpočty bylo pracováno s průměry hodnot obou Testů.

Průběh produkce bioplynu ze vzorku obsahujícího 20g čerstvé hmoty je znázorněn v následujícím obrázku (Obr. 9), ze kterého je patrné celkové množství vyprodukovaného bioplynu za dobu fermentace, která trvala 37 dní. Po 37. dni již byla produkce bioplynu zanedbatelná a test byl proto ukončen.



Obr. 9: Nápočtová křivka denních produkcí.

Hodnoty, které prokázala analýza, byly použity na výpočet výtěžnosti bioplynu. Při výpočtu byla uvažována výhřevnost metanu $33,8 \text{ MJ/m}^3$. Hodnota výhřevnosti vzorku byla vypočtena vynásobením výhřevnosti metanu s produkcí metanu ze vzorku. Pro kompletnost je uvedena výhřevnost pro různé stavy vzorku.

Tab. XIV: Výpočet výtěžnosti bioplynu z ozdobnice.

stav vzorku	Produkce metanu	
	hodnota	jednotky
čerstvá hmota	75,25	l metanu/kg čerstvé hmoty
sušina	361	l metanu/kg sušiny
organická sušina	435	l metanu/kg organické sušiny

stav vzorku	Výhřevnost	
	hodnota	jednotky
čerstvá hmota	2,54	MJ/kg čerstvé hmoty
sušina	12,201	MJ/kg sušiny
organická sušina	14,703	MJ/kg organické sušiny

Hodnota výhřevnosti bioplynu je podle provedeného testu 12,201 MJ/kg sušiny. Oproti tomu je výhřevnosti podle PORVAZ A KOL. (2008) při spalování 18 MJ/kg sušiny. Z toho vyplývá, že se z energetického hlediska ozdobnice hodí spíše pro spalování než k výrobě bioplynu.

Podle PAPTAEOFANOUS A KOUKIS (1996) je produkce bioplynu z ozdobnice nižší kvůli vysokému obsahu lignocelulotického komplexu. Ozdobnice má obsah celulózy okolo 43,1 % sušiny, hemicelulózy 26,7 % a ligninu 22,1 %. Tyto složky jsou při anaerobní fermentaci špatně rozložitelné.

Energetická výtěžnost bioplynu z porostu ozdobnice byla vypočtena podle vzorce:

$$E = Q * S$$

kde E je energetická výtěžnost (zisk), S je průměrný výnos fytomasy v t/ha a Q je výhřevnost v GJ/t. Jako hodnota výnosu z hektaru byla dosazena průměrná hodnota výnosů Porostů z podzimního odběru - tj. 5 t sušiny/ha. V dalších letech se však předpokládají výnosy vyšší, a to nejen kvůli lepšímu zapojení porostu, ale i dvousečnému způsobu sklizně.

$$E = 5 * 12,201$$

$$E = 61 \text{ GJ/ha}$$

Hodnota energetické výtěžnosti bioplynu byla výpočtem stanovena 61 GJ/ha.

5.4 Energetická výtěžnost při spalování

Pro porovnání, zda je lepší ozdobnici spalovat nebo použít na výrobu bioplynu, je nutné znát energetickou výtěžnost obou procesů. Energetická výtěžnost spalování ozdobnice byla vypočtena podle vzorce:

$$E = Q * S$$

kde E je energetická výtěžnost, S je průměrný výnos fytomasy v t/ha a Q je výhřevnost v GJ/t. Jako průměrný výnos byla zvolena hodnota 5,6 t/ha, jež

představuje průměrný výnos sušiny Porostů sklizených na jaře 2015. Jako výhřevnost biomasy bylo dosaženo 18 MJ/kg, jak ve své práci uvádí PAPTATHEOFANOUS A KOUKIS (1996).

$$E = 5,6 * 18$$

$$E = \underline{100,8 \text{ GJ/ha}}$$

Hodnota energetické výtěžnosti při spalování miscanthu je 100,8 GJ/ha, zatímco energetická výtěžnost při výrobě bioplynu je pouze 61 GJ/ha. Energetická výtěžnost při spalování miscanthu je cca o 39,5 % vyšší, než při spalování bioplynu získaného anaerobní fermentací ozdobnice.

Z toho vyplývá, že ozdobnici je lepší využít spíše pro spalování než pro výrobu bioplynu, čímž se potvrzuje hypotéza č. 2, která předpokládá, že energetická výtěžnost rostliny *Miscanthus giganteus* je vyšší při přímém spalování než při použití na výrobu bioplynu.

STRAŠIL (1994) ve své práci píše, že pokud ozdobnice dosahuje požadovaných vysokých výnosů má, v porovnání s ostatními energetickými plodinami, relativně vysokou energetickou výtěžnost (Tab. XV). Z uvedených plodin má vyšší energetickou výtěžnost pouze křídlatka. U křídlatky je však značné riziko nechtěného šíření do krajiny - jedná se o rostlinu invazní. O něco nižší energetickou výtěžnost má při podobné výhřevnosti čirok cukrový a konopí.

Tab. XV: Výhřevnost a energetická výtěžnost vybraných energetických plodin (upraveno dle STRAŠIL, 1994).

Plodina	Výhřevnost (MJ/kg)	Energetická výtěžnost (GJ/ha)
Ozdobnice čínská	17,887	268,3
Konopí	18,060	190,0
Hyso	17,657	188,2
Čirok zrnový	17,633	101,9
Čirok cukrový	17,599	201,9
Křídlatka	19,444	397,2
Slunečnice	16,700	138,8
Len (sláma)	18,580	70,2
Koriandr	18,882	97,0
Řepka ozimá (sláma)	17,484	82,8
Lnička	18,840	88,9

6. Závěr

Ve vyspělých státech západní a střední Evropy, kde dochází k nadprodukcí rostlinných komodit pro nutriční využití, představuje ozdobnice zajímavou alternativu využití půdy. Pokusy s pěstováním ozdobnice přinášejí výsledky, které mohou v budoucnu zlepšit a zefektivnit technologii jejího pěstování.

Z výsledků polních pokusů na lokalitě v Českých Budějovicích vyplývá, že pro ozdobnici určenou pro energetické využití formou spálení je jarní termín sklizně, a to díky vysokému obsahu sušiny. Při jarní sklizni byl obsah sušiny v biomase stanoven na 57 - 91%, zatímco na konci září byl obsah sušiny 22 - 32 %. Mráz přes zimu fytomasu vysuší natolik, že není třeba jí dosoušet, což je ekonomicky relativně nákladné. Materiál lze tak bez větších obtíží skladovat nebo jej přímo zpracovat.

I když se daly předpokládat vyšší výnosy suché fytomasy v podzimním termínu odběru vzorů, nestalo se tak, a pravděpodobně díky mírné zimě miscanthus do jarní sklizně svůj výnos zvýšil. Na podzim 2014 bylo z Porostů získáno v průměru 5 t/ha suché hmoty a na jaře 2015 5,6 t/ha sušiny. Nepotvrdila se tak hypotéza číslo jedna, tedy, že výnos při sklizni na jaře bude nižší, než výnos při sklizni na podzim. Stalo se tak pravděpodobně v důsledku teplého podzimu a mírné zimy, kdy ještě rostliny miscanthu mohly přirůstat. Výnosy sušiny fytomasy byly oproti očekávání nižší. Je nutné vzít v úvahu, že porosty ozdobnice byly na dané lokalitě prvním a druhým rokem. Podle údajů z literatury se dá očekávat nárůst výnosů v následujících letech.

Produkce bioplynu z ozdobnice byla i kvůli vysokému obsahu lignocelulotického komplexu jen 361 l metanu/kg sušiny. Z této hodnoty byla vypočtena výhřevnost bioplynu na 12,201 MJ/kg sušiny. Výhřevnost ozdobnice při spalování byla podle literatury stanovena na 18 MJ/kg sušiny.

Z hodnot průměrného výnosu fytomasy a výhřevnosti metanu byla vypočtena energetická výtěžnost bioplynu z ozdobnice a vyšla 61 GJ/ha, zatímco energetická výtěžnost při spalování byla 100,8 GJ/ha, což je o 39,5 % více. Tímto se potvrdila Hypotéza č. 2: Energetická výtěžnost rostliny *Miscanthus giganteus* je vyšší při přímém spalování než při použití na výrobu bioplynu. Je však třeba upozornit na skutečnost, že v dalších letech bude porost pro využití na bioplyn sklizen vícesměrně,

což by mělo mít pozitivní vliv na výši výnosů a tím i na celkovou energetickou výtěžnost.

Pro vytvoření relevantních závěrů by bylo potřeba, aby porost byl starší. Tím, že byl porost jeden nebo dva roky starý, byly výnosy velice nízké. Pro dosažení relevantnějších výnosů, je potřeba alespoň tři roky starý porost.

Ozdobnice je velice zajímavý a perspektivní druh z hlediska využívání rostlinných surovin v oblasti energetiky. Hlavními výhodami při pěstování ozdobnice čínské jsou každoroční vysoké výnosy sušiny fytohmoty, kvalita fytopaliva srovnatelná se dřevem, relativně nízké nároky na hnojení, pesticidy, sklizeň realizovaná běžnými sklízecími mechanismy, atd. Má ale i dvě nezanedbatelné nevýhody - vysoké náklady na pořízení sadby a riziko vymrznutí porostu v roce výsadby. I přes tyto nevýhody lze ozdobnici považovat za významný surovinový zdroj pro průmyslové a energetické využití.

7. Použitá literatura

Behnke, G.D, David, M. B., Voigt, T. B. (2012): Greenhouse Gas Emissions, Nitrate Leaching, and Biomass Yields from Production of *Miscanthus giganteus* in Illinois, USA, *Bioenergy Research* 5, 801-813.

Clifton-Brown, J. C., Long, S.P., Jorgensen, U.: *Miscanthus* productivity. In: Jones, M.B., Walsh, M. (2001): *Miscanthus for energy and fibre*. James a James (Science publishers), Ltd, London, 192 s.

Collura, S., Azambre, B., Fingueneisel, G., Zimmy, T., Weber, J.V. (2006): *Miscanthus Giganteus* straw and pellets as sustainable fuels. *Environmental Chemistry Letters*, 4, 75-78.

Dohleman, F., G, Long, S. P. (2009): More Productive Than Maize in the Midwest: How Does *Miscanthus* Do It? *Plant Physiology*, vol. 150, p. 2104-2115.

Ercoli, L., Mariotti, M., Masoni, A., Bonari, E. (1999): Effect of irrigation and nitrogen fertilization on biomass yield and efficiency of energy use in crop production of *Miscanthus*. *Field Crops Research*, 63:1, 3-11.

Fuksa, P. (2009): Netradiční využití biomasy v praxi. *Biom.cz* [online]. 2009-07-15 [cit. 2015-02-25]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/netradicni-vyuziti-biomasy-v-praxi>>.

Hasler, P., Candinas, T., Nussbaumer, T.(1998): Utilization of ashes from the combustion of hay, *Miscanthus*, hemp, straw and wood as fertilizer. In: *Proceedings from 10th European Conference and Technology Exhibition "Biomass for Energy and Industry"*, Würzburg, Germany, 8-11 June, 1998, p. 192-195.

Havlíčková, K., Weger, J., Konvalina, P., Moudrý, J., Stražil, Z. (2007): *Zhodnocení ekonomických aspektů pěstování a využití energetických rostlin*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 1. vyd., 92 s.

Havlíčková, K., Weger, J. (2006): *Metodika analýzy potenciálu biomasy jako obnovitelného zdroje energie*, *Acta Pruhoniana* 83, VÚKOZ, Průhonice, 96 s.

Heaton, E. A., Frank, G., Dohleman, F., G., Long, S.P.(2008): Meeting biofuel goals with less land: the potential of *Miscanthus*. *Global Change Biology*, 14, 2000-14.

Heaton, E., A., Boersman, N., Caveny, J., D., Voight, T., B., Dohleman, F., G. (2014): *Miscanthus* for Biofuel Production, dostupné z <http://www.extension.org/pages/26625/miscanthus-miscanthus-x-giganteus-for-biofuel-production#.VQW4WI6G-ON>

Himken, M., Lammel, J., Neukirchen, D., Czypionka-Krause, U., Olf, H.W.(1997): Cultivation of *Miscanthus* under West European conditions: seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization. *Plant and Soil*, 189: 1, 117-126.

Hodkinson T.R., Chase M.W., Takahashi C., Leitch I.J., Bennett M.D., Renvoize S.A. (2002): The use of DNA sequencing (ITS and trnL-F), AFLP, and fluorescent in situ hybridization to study allopolyploid *Miscanthus* (Poaceae). *American Journal of Botany* 89:279-286.

Hoel, M., Kverndokk, S. (1996): Depletion of fossil fuels and the impacts of global warming, *Resource and Energy Economics*, volume 18, issue 2, 115-136 s.

Hůla, J., Procházková, B. (2002): Vliv minimalizačních a půdoochranných technologií na plodiny, půdní prostředí a ekonomiku. *Zemědělské informace ÚZPI* č. 3, 103 s.

Kára, J.(2005):. *Energetické rostliny: technologie pro pěstování a využití*. Praha, 2005, 81 s.

Kirstensen, E.F.(1994): Harvesting technique and combustion of elephant grass (*Miscanthus sinensis giganteus*) in farm heating plants. In: European conference on biomass for energy, environment, agriculture and industry. Book of Abstracts from International Conference. Vienna-Austria, October 1994, p. 184-185.

Lewandowski, I., Clifton-Brown, J. C., Scurlock, J. M. O., Huisman, W.(2000): *Miscanthus*: European experience with a novel energy crop. *Biomass and Bioenergy*, 19: 4, 209-227.

Lewandowski, I., Kircherer, A., vonier, P. (1995): CO₂-balance for the cultivation and combustion of Miscanthus. *Biomass and Bioenergy*, 8, p. 81-90.

Lewandowski, I., Scurlock, J.M.O., Lindvall, E., Christou, M. (2003): The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy*, 2003, vol. 25, p. 335-361.

Malat'ák, J., Plíštil, D., Jevič, P., Příklad, M. (2005): Energetické rostliny. In: Využití fytomasy pro energetické účely: sborník vědeckých publikací z mezinárodního semináře "Nepotravinářské využití fytomasy", České Budějovice 2005, 1. vyd. Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2005, 123 s.

Malat'ák, J., Plíštil, D., Jevič, P., Příklad, M. (2005): Tepelně-emisní charakteristiky lisované fytomasy, 2005, Sborník vědeckých příspěvků ze semináře "Nepotravinářské využití fytomasy a obnovitelné zdroje energie", Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta.

Malat'ák, J., Vaculík, P. (2008): Biomasa pro výrobu energie. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 168 s.

Menardo, S., Bauer, A., Theuretzbacher, F., Piringer, G., Nilsen, P. J., Balsari, P., Pavliska, O., Amon, T.(2013): Biogas production from steam-exploded miscanthus and utilization of biogas energy and CO₂ in greenhouses. *Bioenergy Research*, 6, s. 620-630.

Moudrý, J., Strašil, Z. (1996): Alternativní plodiny, skriptum, Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, České Budějovice, 90 s.

Mužík, O., Kára, J. (2009): Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. *Biom.cz* [online], cit. 2015-02-25. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>>.

Ochodek, T., Koloničný, J., Branc, M. (2007): Metodická příručka ke studii - Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1. vyd., 30 s.

Papatheofanous, M.G., Koukis, E.G. (1996): Charakterizaiton of Miscanthus sinensis potencial as an industrial and energy feedstuck. In: Abstracts from 9th European

Bioenergy Conference and 1st European Energy from Biomass Technology Exhibition. 24-27 June, 1996, Copenhagen, Denmark, s. 136.

Pastorek, Z., Kára, J., Jevič (2004): Biomasa: obnovitelný zdroj energie. Praha: FCC Public, 2004, 286 s.

Petříková, V., Sladký, V., Stražil, Z., Šafařík, M., Ust'ak, S, Váňa, J. (2006): Energetické plodiny. Profi Press, 1. vyd., 127 s.

Petříková, V. (2005): Energetická biomasa z polních kultur. Biom.cz [online]. 2005-05-11 [cit. 2015-03-30]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz-BPSZemedL/odborne-clanky/energeticka-biomasa-z-polnich-kultur>>.

Pohořelý, M., Jeremiáš, M. (2010:) Zplyňování biomasy – možnosti uplatnění, Výsledky výzkumu, vývoje a inovací pro obnovitelné zdroje energie (OZE 2010), dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zplynovani-biomasy-moznosti-uplatneni>.

Porvaz, P., Mati, R., Kotorová, D., Jakubová, J. (2008): Pestovanie ozdobnice čínskej (*Miscanthus sinensis* Anderss.) na energetické účely (metodická příručka), Ústav agroekológie Michalovce, 1. vyd., 31 s.

Schwarz, H. (1994): Fertilization effect on production of *miscanthus sinensis giganteus*. In: European conference on biomass for energy, environment, agriculture and industry. Book of Abstracts from International Conference. Viena-Austria, October 1994, s. 180-181.

Sladký, V. (1994): Dálkové vytápění biomasou na venkově. Stud. inform., ÚZPI, Praha, Ř. zeměd. techn. a stavby, 1994, č. 4, 68 s.

Součková, H., Moudrý, J., Kalinová, J., Konvalina, P., Celjak, I., Moudrý, J., Blaho, M. (2006): Nepotravinářské využití biomasy, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. 1. vyd., 95 s.

Stražil, Z., Šimon, J.(2009): Stav a možnosti využití rostlinné biomasy v energetice ČR. Biom.cz [online]. [cit. 2015-03-02]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/stav-a-moznosti-vyuziti-rostlinne-biomasy-v-energetice-cr>>.

Stražil, Z. (1994): Lnička setá, In. Sbor. Rozšíření maloobjemových plodin pro potravinářské a technické využití ke zvýšení rentability rostlinné výroby, VÚRV Praha, 1994, s. 145-152.

Stražil, Z. (2009): Základy pěstování a možnosti využití ozdobnice (*Miscanthus*) (metodika pro praxi). Výzkumný ústav rostlinné výroby, 52 s.

Šimon, J., Stražil, Z. (2000): Perspektivy pěstování plodin pro nepotravinářské účely, 1. vyd. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 50 s.

Škorpík, J. (2011): Fosilní paliva, jejich využití v energetice a ekologické dopady, Transformační technologie, 2011-04, [last updated 2011-06]. Brno, ISSN 1804-8293. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/fosilni-paliva-jejich-vyuziti-v-energetice-a-ekologicke-dopady.html>.

Váňa, J. (2001): Nové cíle v energetickém využití biomasy a příprava high-technologií k jejich zabezpečování. Biom.cz [online]. [cit. 2015-04-01]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nove-cile-v-energetickem-vyuziti-biomasy-a-priprava-high-technologie-k-jejich-zabezpecovani>.

Weger, J., Stražil, Z., Honzík, R., Bubeník, J. (2012): Možnosti pěstování biomasy jako energetického zdroje v Ústeckém kraji. Průhonice, 81 s.

Weger, J., Stražil, Z., Hutla, P. (2011): Produkční a energetické vlastnosti ozdobnice (*Miscanthus* sp.) pěstované v podmínkách České republiky. Acta Pruhoniana 97: 13-26, 13-26 s.

Weger, J. (2004): Biomasa a její využitelné formy. In: Sborník konference MŽP ČR - Obnovitelné zdroje energie pro venkov i teplárenství, Hradec Králové, 2004.

Internetové zdroje:

Power Reactor Information System:

<http://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/NuclearShareofElectricityGeneration.aspx>

Sbírka zákonů ČR:

<http://www.sbcz.cz/>

Stránky Ministerstva zemědělství ČR:

Možnosti energetického využití biomasy, ukázka praktických opatření z Akčního plánu pro biomasu v ČR na období 2012-2020, Praha 2013.

http://eagri.cz/public/web/file/283371/Moznosti_energetickeho_vyuziti_biomasy.pdf

Webové stránky Energetického regulačního úřadu:

<http://www.eru.cz/cs/statistika>

World nuclear association:

<http://world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/World-Energy-Needs-and-Nuclear-Power/#.UmqsyHDIY6w>

8. Přílohy

Příloha č. 1: Fotografická dokumentace



Obr. 1: Založení Porostu 3 ozdobnice na pokusné lokalitě v Českých Budějovicích, květen 2014 (Autor: Ing. Marek Kopecký).



Obr. 2: Porost 3 ozdobnice v srpnu 2014 (Autor: Bc. Marie Kropšová).



Obr. 3: Porost ozdobnice po zimě, 18. března 2015 (Autor: Bc. Marie Kropšová).



Obr. 4: Suchý porost ozdobnice, 28. březen 2015 (Autor: Ing. Marek Kopecký)



Obr. 5: Nově rašící stonky ozdobnice, 28. března 2015 (Autor: Ing. Marek Kopecký).