

# JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

---

Katedra agroekosystémů

Studijní program: B4131 / Zemědělství

Studijní obor: Trvale udržitelné systémy hospodaření v krajině

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

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Kvalifikace primární půdní organické hmoty podle rychlostní konstanty  
oxidace v půdách porostů energetických rostlin**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marek Kopecký

Autor bakalářské práce: David Skoba

**České Budějovice, 2018**

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
Zemědělská fakulta  
Akademický rok: 2017/2018

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **David SKOBA**  
Osobní číslo: **Z15157**  
Studijní program: **B4131 Zemědělství**  
Studijní obor: **Trvale udržitelné systémy hospodaření v krajině**  
Název tématu: **Kvalifikace primární půdní organické hmoty podle rychlostní konstanty oxidace v půdách porostů energetických rostlin**  
Zadávací katedra: **Katedra agroekosystémů**

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

1. **Úvod:** Úvod do problematiky.
2. **Literární rešerše:** Shrnutí dosavadních poznatků o významu půdní organické hmoty a jejím rozdělení.
3. **Cíl práce:** Stanovení rychlostní konstanty oxidace primární půdní organické hmoty ve vzorcích půd z porostů energetických rostlin (*Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1, *Phalaris arundinacea* L., *Miscanthus giganteus*), sledování výnosových parametrů těchto rostlin.
4. **Materiál a metodika:** Odběr vzorků půdy a jejich příprava k analýze. Stanovení rychlostní konstanty oxidace organické hmoty v půdních vzorcích dle metodiky popsané kolektivem Kopecký, Kolář, Borová-Batt (2016).
5. **Výsledky a diskuse:** Zpracování a vyhodnocení získaných dat. Porovnání výsledků s údaji v odborné literatuře.
6. **Závěr:** Shrnutí výstupů závěrečné práce.
7. **Seznam použité literatury**

## Naskenované zadání - 2. strana

Rozsah grafických prací: dle potřeby (tabulky, grafy, fotografická příloha)  
Rozsah pracovní zprávy: 30-50-stran včetně příloh  
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

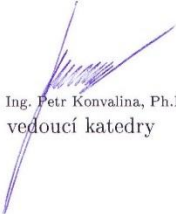
- Kolář L., Kužel S., Horáček J., Čechová V., Batt J., Peterka J. (2009): Labile fractions of soil organic matter, its quantity and quality. *Plant, Soil and Environment*, 55, 181-186.
- Kolář L., Ledvina R., Kužel S., Klimeš F., Štindl S. (2006): Soil organic matter and its stability in aerobic and anaerobic condition. *Soil & Water Research*, 1, 2: 57-64.
- Kolář L., Moudrý J., Kopecký M. (2015): Kniha o humusu. Náměšť nad Oslavou: ZERA, 25 s.
- Kolář L., Vaněk V., Peterka J., Batt J., Pezlarová J. (2011): Relationship between quality and quantity of soil labile fraction of the soil carbon in Cambisols after limit during a 5-years period. *Plant, Soil and Environment*, 57, 193-200.
- Kopecký M., Kolář L., Borová-Batt J. (2016): The new method of determination of the quantity and quality of primary soil organic matter and humus. In: *Proceedings from International Conference Soil - non-renewable environmental resource*. Brno: MENDELU, 135-142.
- Váchalová, R., Kolář, L., Muchová, Z. (2016): Primary soil organic matter and humus, two components of soil organic matter. *Slovak University of Agriculture in Nitra, Nitra, Slovakia*.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Marek Kopecký  
Katedra agroekosystémů

Datum zadání bakalářské práce: 2. října 2017  
Termín odevzdání bakalářské práce: 15. dubna 2018

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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
tel. interní 1898, 370 06 České Budějovice

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

V Českých Budějovicích dne 20. března 2018

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské 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 Netolicích dne 15. 4. 2018

.....

Skoba David

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Markovi Kopeckému za jeho cenné rady, vstřícnost, trpělivost při častých konzultacích a spolupráci při pokusech. Také bych rád poděkoval rodině, která mi poskytla čas na psaní této práce.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce je zaměřena na sledování výnosových parametrů vybraných energetických rostlin (*Elymus elonganus*, *Phalaris arundinacea* L., *Miscanthus × giganteus*). Tato část práce probíhala na pokusné lokalitě Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, kde jsou založeny dlouhodobé pokusy zaměřené na pozorování výnosnosti těchto rostlin. Byl sledován výnos porostů pěstovaných pro účely spalování, které jsou sklizeny jednou ročně před začátkem vegetační sezóny. Výzkum ukázal, že nejvýnosnějším druhem je ve čtyřletém průměru *Miscanthus × giganteus*. Druhou praktickou částí mé práce byl odběr a analýza půdních vzorků z těchto porostů a pro srovnání také odběr vzorku půdy pod trvalým travním porostem. V laboratoři na Katedře agroekosystémů byly vzorky upraveny a zkoumány z hlediska množství a kvality půdní organické hmoty. Bylo zjištěno, že obsah humusu v půdách s energetickými rostlinami je nižší v porovnání s obsahem těchto látek v půdě pod trvalým travním porostem. Ve zjištěných hodnotách rychlostních konstant oxidace primární půdní organické hmoty nebyly zaznamenány výrazné rozdíly.

**Klíčová slova:** energetické rostliny, humus, půdní organická hmota, výnos

## **Abstract**

This Bachelor thesis is focused on monitoring the yield parameters of selected energy plants (*Elymus elonganus*, *Phalaris arundinacea* L., *Miscanthus* × *giganteus*). First part of the work was performed at the experimental site of the Faculty of Agriculture of the University of South Bohemia in České Budějovice, where long-term experiments were carried out to look at the yields of these plants. I was observing the yield of crops grown for the purpose of incineration, which are harvested once a year before the beginning of the growing season. Research has shown that on a 4-year average the most profitable species is *Miscanthus* × *giganteus*. The second practical part of my work was the sampling and analysis of soil samples from these stands and, for comparison, the sampling of soil under permanent grassland. In the laboratory at the Department of Agroecosystems the samples were modified and examined in terms of the quantity and quality of soil organic matter. The analysis shows that the content of humus in soils with energy plants is lower in comparison to the content of these substances in soil under permanent grassland. There were no significant differences in the observed values of the velocity constants of the oxidation of the primary soil organic matter.

**Key words:** energy crops, humus, soil organic matter, yield

## Obsah

1. Úvod.....	9
2. Literární rešerše.....	10
2.1 Půda.....	10
2.1.1 Vznik půd.....	10
2.1.2 Rozdělení půdy a zeminy z pedologického hlediska.....	12
2.1.2.1 Zrnitostní složení.....	12
2.2 Půdní organická hmota.....	12
2.2.1 Zdroje a obecné charakteristiky půdní organické hmoty.....	12
2.2.2 Pojmy „Humus“ a „Primární půdní organická hmota“.....	13
2.2.3 Hodnocení kvality a množství půdní organické hmoty.....	14
2.3 Primární půdní organická hmota.....	15
2.4 Humus.....	15
2.4.1 Fulvokyseliny.....	16
2.4.2 Huminové kyseliny.....	16
2.4.3 Huminy.....	16
2.5 Energetika.....	17
2.5.1 Obnovitelné zdroje energií (OZE).....	17
2.5.1.1 Biomasa.....	18
2.6 Energetické využití fytomasy.....	19
2.6.1 Spalování.....	20
2.7 Charakteristika vybraných druhů energetických rostlin.....	23
2.7.1 <i>Phalaris arundinacea</i> L.....	23
2.7.2 <i>Elymus elongatus</i> .....	24
2.7.3 <i>Miscanthus × giganteus</i> .....	25
3. Cíle a hypotézy.....	27
4. Materiál a metodika.....	28
4.1 Charakteristika lokality.....	28
4.2 Údržba porostů a stanovení výnosů.....	28
4.2.1 Agrotechnické operace a údržba porostů.....	28
4.2.2 Sklizeň fytomasy a stanovení výnosů.....	31
4.3 Analýza půdních vzorků.....	31



4.3.1	Odběr a příprava vzorků.....	31
4.3.2	Stanovení kvality primární půdní organické hmoty .....	31
4.3.2.1	Postup laboratorních prací (Kopecký a kol., 2016).....	31
4.3.3	Stanovení obsahu humusu a stupně humifikace .....	33
5.	Výsledky a diskuze.....	34
5.1	Výnos fytomasy.....	34
5.2	Rychlostní konstanta oxidace primární půdní organické hmoty .....	37
6.	Závěr.....	42
7.	Použitá literatura.....	43
8.	Přílohy .....	52

## 1. Úvod

Z důvodu neustále se zvyšující spotřeby energie na Zemi a také omezeným zásobám fosilních paliv musíme hledat způsoby výroby energie z obnovitelných zdrojů. Jednou z možností je pěstování energetických rostlin. Mezi nejrozšířenější z nich patří na našem území kukuřice setá a řepka ozimá. Z environmentálního hlediska je však vhodnější pěstování rostlin vytrvalých. Velkou výhodou těchto rostlin je malé zatížení životního prostředí a také trvalá udržitelnost jejich pěstování. K tomuto účelu nám mohou sloužit například půdy, které jsou v méně úrodných oblastech. Tyto plodiny ovšem můžeme pěstovat i na půdách znečištěných, které nemohou sloužit pro potravinářské využití.

Jednotlivé rostlinné druhy mají různý vliv na půdní charakteristiky. Mezi nejdůležitější z nich patří vliv na obsah a kvalitu organické hmoty, která ovlivňuje mimo jiné půdní strukturu, infiltraci a retenci srážkové vody nebo aktivitu půdního edafonu.

Energetické rostliny mají široké možnosti využití, jednou z nich je přímé spalování. V mé bakalářské práci jsem se zaměřil na sledování výnosu suché hmoty u vybraných vytrvalých energetických rostlin (*Elymus elongatus*, *Phalaris arundinacea* L., *Miscanthus × giganteus*). Dále jsem se zabýval rozborem půdních vzorků z jednotlivých porostů. Zkoumal jsem stupeň humifikace, celkový organický uhlík a stanovení kvality PPOH pomocí rychlostní konstanty a její oxidace.

## 2. Literární rešerše

### 2.1 Půda

Půda je definována jako směs minerálních a organických látek, které vznikají rozpadem mateční horniny pomocí fyzikálních, chemických a biologických faktorů. Po fyzikální stránce je půda trojfázový systém, který zahrnuje fázi pevnou, kapalnou a plynnou. Pevné látky tvoří největší podíl půdy (50-85%). Kapaliny nebo půdní roztok se podílejí 10-45% z celkového objemu půdy. Plynné látky (půdní vzduch) jsou zastoupeny nejméně, a to 5-40% prostoru půdy. Za ideální bývá považován poměr mezi pevnými, kapalnými a plynnými látkami 10:7:3 (50%:35%:15% objemu půdy) (Kalina, 2004).

Pevná část půdy obsahuje složky organické a anorganické. Kapalná část zahrnuje půdní vodu s roztokem živin. Po stránce ekologické je půda charakterizována jako otevřený systém, který je tvořený dvěma základními složkami, neživou a živou. Neživou složku tvoří látky organické a anorganické. Živou složkou půdy jsou půdní organizmy rostlinného a živočišného původu (Kolář a kol., 2014).

Úrodnou půdu je bohužel lehké degradovat, avšak je velmi složité a obtížné jí vrátit do původního stavu. Zjistilo se, že jeden centimetr půdní vrstvy se tvoří přibližně 80-150 let (Jandák a kol., 2010). Na vznik a vývoj půdy působí mimo jiné složení půdotvorného substrátu, klima, biologické faktory, reliéf terénu a čas, což řadíme mezi přirozené faktory (Kratina a kol., 2010). Rozkládáním hornin, ať už mechanickým či chemickým vzniká substrát, který bývá promísen s organickou frakcí a postupně, během dlouhodobého procesu vzniká půda (Kolář a kol., 2014). Půdu je vždy třeba vnímat jako přírodní dynamický útvar, který se vyvíjí, tvoří a udržuje pod vlivem okolního prostředí (Tomášek, 2000).

#### 2.1.1 Vznik půd

Vrchní část litosféry přechází v tzv. pedosféru, půdní obal Země. Půda je definována jako zemitý povrch vrstvy pevné kůry zemské. Na procesu přeměny horniny v půdu se podílejí tyto vývojové stupně -mateční hornina, půdotvorný substrát, půda. Zvětrávající pochody, mezi něž se řadí působení fyzikální, biologické a chemické, vzniká nejprve půdotvorný substrát, ze kterého následně působením půdotvorných činitelů vzniká půda

určitého druhu a typu. Na fyzikální zvětrávání působí mechanické vlivy, jako je například teplota, voda či vítr. Rychlost zvětrávání závisí také na druhu mateční horniny. Při fyzikálním zvětrávání dochází k narušení mateční horniny, ovšem nedochází k chemickým změnám. Z velké části se jedná o sezónní proces, který se uskutečňuje při extrémně vysokých či nízkých teplotách. Při těchto teplotách vznikají v mateční hornině pukliny, které se působením dalších činitelů zvětšují. Kromě změn teplot se na rozrušení hornin podílí také voda a vítr. Fyzikální zvětrávání rozšiřuje pole působnosti pro chemické a biologické zvětrávání (Chapin a kol., 2002).

Chemické zvětrávání je způsobeno hlavně vodou, kyselinami nebo také vzdušným kyslíkem. Milerski (2005) uvádí, že při chemickém zvětrávání jsou rozrušovány krystalické mřížky primárních minerálů. Tento proces se uskutečňuje při působení atmosférického kyslíku, oxidu uhličitého a rozpuštěných minerálních látek, uvolňujících se ze zvětrávající horniny (Šantrůčková, 2001).

Při biologickém zvětrávání hrají hlavní roli půdní organizmy (edafon). Tomášek (2007) rozlišuje fytoedafon, za který označuje veškeré rostlinné organizmy žijící v půdě. Patří sem nižší rostliny - bakterie, aktinomycety, houby (plísňe), ale také řasy. Zooedafon je pak takzvané půdní živočišstvo, které můžeme rozdělit na mikroedafon, kam řadíme nálevníky, prvoky, ale také některé červy a tak dále. Makroedafon je obsáhlejší skupina, proto do ní patří více skupin živočichů, jako jsou členovci (stonožky, roztoči, larvy), červi (dešťovky), měkkýši, ale také někteří obratlovci (hlodavci, hmyzožravci). Půdní organizmy si v horninách vytvářejí různé chodbičky, kořeny rostlin a stromů svým růstem narušují horniny. Tento druh zvětrávání podporuje činnost fyzikálních i chemických činitelů. Edafon se mimo to významně podílí také na zpracování odumřelé organické hmoty a na promíchávání veškerých půdních složek. Biologické zvětrávání napomáhá vytváření organické hmoty. Podle Formana a Godrona (1993) biologické zvětrávání těsně souvisí se zvětráváním chemickým. Probíhá za přítomnosti mechů, lišejníků a drobných rostlin.

## 2.1.2 Rozdělení půdy a zeminy z pedologického hlediska

V pedologii se často objevují pojmy jako půda a zemina. Rozdíly mezi nimi spočívají v přístupu k jejich třídění. Základní jednotkou klasifikace zemin je půdní druh.

Klasifikační systém půd České republiky zná celkem 15 referenčních tříd a následně mnoho desítek půdních typů, které jsou základní jednotkou při klasifikaci půd podle jejich geneze. Jako příklady lze uvést černosoly s významným typem černozemě (CE) a černice (CC), nebo také luvisoly, které zahrnují typy: šedozem (SE), hnědozem (HN) a luvizem (LU). Z hlediska půdní úrodnosti je nejvýznamnější černozem, která má nejvyšší přirozenou úrodnost.

### 2.1.2.1 Zrnitostní složení

Zrnitostní složení půdy je významný znak, který je dán zastoupením jednotlivých velikostně rozdílných minerálních částic (Tomášek, 2007). V Tab. 1 je přehled půdních druhů (dle Nováka) včetně obsahu půdních částic 1. kategorie.

Tabulka 1: Půdní druhy

Lehké půdy	Střední půdy	Těžké půdy
0-10 písčítá lehká	20-30 písčitohlinitá	45-60 jílovitohlinitá
10-20 hlinitopísčítá	35-45 hlinitá	65-75 jílovitá těžká >75 jíl.

(Zdroj: Kozák a kol., 2008)

## 2.2 Půdní organická hmota

### 2.2.1 Zdroje a obecné charakteristiky půdní organické hmoty

Pevný podíl půdy zahrnuje zejména složku anorganickou. Menší podíl pak tvoří organická část. Baldock a Nelson (2000) uvádějí, že pod pojmem půdní organická hmota se skrývají všechny přírodní a termálně změněné látky biologického původu, které se v půdě vyskytují v živé, neživé nebo odumřelé v jakékoliv fázi rozkladu. Některé z nich uvádí (Vaněk a kol., 2006). Jedná se například o odumřelý půdní edafon nebo kořenové exsudáty.

Lehce rozložitelným a důležitým materiálem, který po sklizni zůstává v půdě, jsou také vlasové kořínky nebo buňky, které z povrchu kořenů odpadávají, zvláště pak kořenové parenchymové čepičky chránící meristém. Velké množství posklizňových zbytků nechávají v půdě například jeteloviny a jetelotrávy (3-5 t OL/ha), menší množství pak zanechávají obilniny (1-2 t OL/ha) a nejméně okopaniny (0,5-1,0 t OL/ha). Rychle mineralizuje chrást po sklizni cukrové řepy nebo posklizňové zbytky košťálovin (40-55 t čerstvé hmoty/ha) a statková hnojiva, která jsou však zastoupena v limitním množství, protože se stále více snižuje stav dobytka, který byl také důležitým zdrojem živin.

Půdní organické hmotě jsou obecně přisuzovány mnohé pozitivní vlastnosti, ať už v souvislosti s půdní strukturou či schopností zadržet vodu. Zvýšení obsahu organické hmoty v půdě můžeme dosáhnout využíváním organických hnojiv (Hutchinson a kol., 2007). Ty obecně zvyšují zastoupení organické hmoty v půdách (Parras-Alcantara a kol., 2015). Mezi tato hnojiva patří například zelené hnojení, hnůj, čistírenské kaly nebo kompost (Tejada a Gonzales, 2008). Účinnost hnojení nezávisí jen na množství, svou roli při hnojení hraje také kvalita hnoje a podmínky prostředí (von Lützow a kol., 2006). Půdy chudé na množství organické hmoty mají horší půdní strukturu a také nižší stabilitu půdních agregátů. Darwish a kol. (1995), také se vyznačují menší hydraulickou vodivostí i schopností zadržet vodu (Leroy a kol., 2008). Podle Lal a kol. (2015) mají i menší schopnost poutat živiny.

### **2.2.2 Pojmy „Humus“ a „Primární půdní organická hmota“**

Pojmy „Humus“ a pojem „Primární půdní organická hmota“ (PPOH) se často zaměňují. To ovšem není dobře, protože v praxi se pak považuje veškerý organický neživý materiál za humus. To je však omyl. Rozložená organická hmota v půdě jako jsou kořeny rostlin, rozložený odpad, organická hnojiva nebo posklizňové zbytky nejsou vysokomolekulárními složkami humusu. Pro humus jsou tyto složky nejprve surovinou, která může být na humus přeměněna ve složitém procesu humifikace (Váchalová a kol. 2016). Při tomto pochodu dochází postupnými transformacemi (biodegradace, biosyntéza, rozklad, resyntéza, kondenzace, polymerace) primární půdní organické hmoty k tvorbě specifických látek tmavé barvy, převážně koloidního charakteru, s vysokou molekulovou hmotností, s převahou kyselých funkčních skupin, které se nazývají humus (Kolář a kol., 2014). Spojování

pojmu jako jsou „humus“ a „primární půdní organická hmota“ je proto nelogické. Obě složky půdní organické hmoty jsou rozdílné v chemických vlastnostech a svých funkcích v půdě (Váchalová a kol. 2016)

Váchalová a kol. (2016) dělí půdu na tyto dvě skupiny:

- První složkou je primární půdní organická hmota, která má labilní a stabilní frakce z hlediska hydrolyzy, oxidace a biodegradability. Známe jí rozloženou nebo nerozloženou, mívá sorpční vlastnosti, ovšem nikdy nemá významné vlastnosti iontovýměnné, protože nemá skupiny s disociovatelným vodíkem.
- Druhou složkou je humus, který se liší od primární půdní organické hmoty tak, že je stabilní a je z hlediska délky lidského věku prakticky nerozložitelný. Kromě vlastností sorpčních má také pokaždé významnou schopnost iontovýměnnou.

### **2.2.3 Hodnocení kvality a množství půdní organické hmoty**

Dle zažitých, ale nesprávných metod se kvalita půdní organické hmoty posuzuje podle množství oxidovatelného uhlíku, které se násobilo koeficientem 1,724 (obsah uhlíku v humusu je asi 58 %). Kvalita humusu je pak odvozována podle poměru huminových kyselin (HK) k fulvokyselinám (FK) (Pospíšilová a Tesařová, 2009). Kvalita humusu roste, když se zvyšuje obsah FK. Poměr HK : FK je převážně u našich půd menší než 1. Nejvyšší kvalitou humusem jsou charakteristické černozemě a fluvizemě. Opakem jsou půdy hydromorfní, kde je kvalita humusu nejnižší. Podle Orlova (1985) je dalším ukazatelem kvality humusových látek stupeň humifikace ( $S_H$ ). Charakterizuje intenzitu chemických a biologických přeměn humusových látek v půdě.

Jednodušší a přitom přesnější metody hodnocení množství a kvality půdní organické hmoty popisuje (Kopecký a kol. 2016). Základní myšlenka spočívá v odděleném hodnocení množství a kvality primární půdní organické hmoty a humusu. Kvalita primární organické hmoty je posuzována na základě sledování reakční kinetiky spalování (spalovací směs tvoří dichroman draselný v prostředí kyseliny sírové) půdní organické hmoty (úbytku uhlíku) v půdních vzorcích. Lze tak stanovit rychlostní konstantu této reakce, která je mírou kvality

primární (nezhumifikované) půdní organické hmoty. Po dokončení oxidace za vyšší teploty je určeno množství PPOH. Zjistí-li se celkový obsah organického uhlíku a od něj odečte množství uhlíku náležejícího PPOH, výsledkem je množství uhlíku, který náleží humusu. Kvalita humusu je pak stanovena prostřednictvím kationové výměnné kapacity.

### **2.3 Primární půdní organická hmota**

Primární půdní organická hmota má větší či menší sklon k podléhání rozkladným procesům, které jsou zprostředkovány enzymy půdních mikroorganismů. Jde především o chemické reakce s vodou (hydrolýzy), při nichž ze složitých organických látek vznikají organické látky podstatně jednodušší. Schopnost mineralizovat záleží nejen na chemickém složení konkrétní součásti primární organické půdní hmoty, ale také na jejím fyzikálně-mechanickém stavu (malá částice téhož materiálu má větší specifický povrch a je labilnější, než kompaktní velká částice) (Kolář a kol., 2014).

Pro kvalitu PPOH je velmi významné kvantitativní zastoupení jednotlivých frakcí dle stability (labilní, semilabilní, semistabilní, stabilní). Zvýšený obsah snadno rozložitelných složek půdní organické hmoty je podle některých autorů (Haynes, 2005; Maia a kol., 2007) považován za významný znak potenciální půdní úrodnosti. Snadno rozložitelná frakce půdní organické hmoty je totiž reaktivní složkou s poměrně vysokou rychlostí přeměny (Ghani a kol., 2003). S rostoucí mikrobiální aktivitou se zvyšuje rychlost mineralizace půdní organické hmoty a labilní frakce PPOH jsou brzy spotřebovány (Lalande a kol., 2009). Poté by počet půdních mikroorganismů opět rychle klesl. Váchalová a kol. (2016) se proto domnívá, že půda by měla obsahovat nejen labilní, ale i semilabilní a také semistabilní frakce.

### **2.4 Humus**

Vrba a Huleš (2007) považuje za humus soubor organických látek, který je původem z odumřelých částí rostlin, živočichů a mikrobů promíchaným s minerálním podílem půdy v různých stupních přeměn. Typickým znakem humusu je podle nich jeho heterogenita a labilita, která způsobuje značnou aktivitu v dynamice půdních pochodů. Vašků (2008) uvádí, že obsah humusu je v půdě velmi důležitým parametrem, který významně ovlivňuje půdní



úrodnost a dále přímo nebo nepřímo další funkce půdy. Ztráty humusu v půdě jsou velice vážným projevem degradace půd tzv. dehumifikace.

Ovšem z výše uvedených podkapitol vyplývá, že tyto charakteristiky jsou příznačné spíše pro PPOH. Kolář a kol. (2014) či Váchalová a kol. (2016) upozorňují, že humusové látky jsou pouze ty, které prošly humifikačními procesy. Jedná se tedy o FK, HK a huminy.

### **2.4.1 Fulvokyseliny**

Ve srovnání s humínovými kyselinami jsou světlejší barvy a mají nižší molekulovou hmotnost. Jsou jen málo odolné k mikrobiálnímu rozkladu a rozpouští buď ve vodě, nebo v minerálních kyselinách a loužích. Jsou rozpustné i v hydrolytických roztocích zásaditých solí (Šarapatka, 2014). Vznikají převážně v půdách, které mají nízkou mikrobiologickou aktivitu a kyselé prostředí. Podle prostředí je poločas rozpadu FK asi 10 až 50 let, zatímco u humusových kyselin to mohou být i staletí (Brady a Weil, 1999). Jejich složení je přibližně: C až 49%, H až 4–6%, O až 49%, N až 5%. Díky nižší relativní molekulové hmotnosti se mohou poměrně snadno pohybovat v půdním profilu, což je důležité z hlediska pohybu minerálních látek v půdním profilu (Kolář a kol., 2014).

### **2.4.2 Huminové kyseliny**

Obecně jsou považovány za nejkvalitnější skupinu humusových látek. Jedná se o vysokomolekulární organické sloučeniny, obsahující značné množství uhlíku (52–65%). Dalšími majoritními prvky jsou kyslík (30–39%), dusík (3–5%) a vodík (2,5–5%). V porovnání s FK jsou podstatně odolnější vůči rozkladu a vyznačují se tmavším zbarvením. Vynikají svou vysokou schopností kationové výměnné kapacity (Šarapatka, 2014).

### **2.4.3 Huminy**

Tyto látky jsou charakteristické svojí malou reaktivitou, vysokým obsahem minerálního popela a velkou relativní molekulovou hmotností. Špatně se rozpouštějí v polárních i nepolárních rozpouštědlech, prakticky nejsou schopny oddisociovat svůj vodík a proto se nemohou uplatnit ani v iontové výměně v půdě. Z těchto důvodů se jim připisuje jen

malý význam, protože tyto látky jsou vlastně inertní formou půdního organického uhlíku a mají pro praktického zemědělce význam zcela minimální (Kolář a kol., 2014).

## **2.5 Energetika**

Dle Voženílka (1989) je energetika průmyslovým odvětvím, které se zabývá získáváním, distribucí a přeměnou energie ve všech jejích formách. Hlavní činností je výroba elektrické energie v elektrárnách a posléze její distribuce prostřednictvím přenosové soustavy. Neméně důležitá je těžba a využití uhlí, ropy a zemního plynu, dřeva nebo jaderného paliva. Taktéž sem můžeme zahrnout výrobu a zpracování propanbutanu a využití vodní energie, větrné, přílivu a odlivu a v neposlední řadě geotermální energie.

### **2.5.1 Obnovitelné zdroje energií (OZE)**

Za poslední roky se staly obnovitelné zdroje energií hojně probíraným tématem. Ovšem není to jen cena, proč se o obnovitelných zdrojích stále více mluví. V první řadě je to z důvodu stále se snižujících zásob neobnovitelných zdrojů, na což musíme reagovat, a více se zajímat o ty obnovitelné. Quashing (2010) uvádí, že spotřeba energie na Zemi je rozdělena velmi nerovnoměrně. Šest států světa – USA, Čína, Rusko, Indie, Japonsko a Německo spotřebuje více než polovinu světové energie.

Mezi hlavní druhy OZE řadíme (Váňa, 2003):

- biomasu
- geotermální energii
- sluneční energii
- větrnou energii
- vodní energii

Musil (2009) ale upozorňuje, že všechny OZE mají své geografické, klimatické či jiné limity.

### 2.5.1.1 Biomasa

Motlík a kol.(2007) biomasu definuje jako biologicky rozložitelnou část výrobků, odpadů a zbytků ze zemědělství, lesnictví a souvisejících průmyslových odvětví, dále zemědělské produkty cíleně pěstované pro energetické účely a také biologicky rozložitelnou část průmyslového komunálního odpadu. Khan a kol. (2009) pak píše, že biomasa se skládá z biologického materiálu, získaného z živých, nebo nedávno živých organismů. Biomasa pro energetické účely se používá jak rostlinná tak živočišná. Zdroje energie z biomasy jsou různé, kvůli tomu je potřeba existence komplexního klasifikačního systému. Jedna možnost, jak biomasu třídit, může být na základě základních složek. V zásadě se jedná o celulózu, hemicelulózu a lignin.

Biomasu můžeme pěstovat cíleně, potom má i užitek v podobě zlepšení ekologie krajiny a zároveň efektivní využití půdy (Petříková, 2006). Předností biomasy dle Noskiewiče (1996) je hlavně její obnovitelnost a také její dostupnost. Navíc k jejímu cílenému pěstování můžeme použít přebytečnou zemědělskou půdu, dnes nepotřebnou k produkci potravin. Té bylo na našem území v roce 2 000 hrubým odhadem ministerstva zemědělství 465 tis. ha orné půdy a 523 tis. ha luk a pastvin (Petříková, 2001). Fuksa (2009) říká, že energetické rostliny můžeme pěstovat i na výsypkách či na skládce popela. Další výhody biomasy mohou být dle Petříkové (2000) v sociálně ekonomickém odvětví, a to zejména na venkově, kde se může vytvářet řada nových pracovních míst a současně zajišťovat údržbu krajiny.

Petříková a kol. (2006) ovšem zmiňuje i nevýhody biomasy, ze kterých jako hlavní označuje nedostatečnou ekonomickou konkurenční schopnost vůči fosilním palivům a každoročním nejistým výnosům biomasy. Fuksa (2009) vidí nedostatky také v malé objemové hmotnosti fytomasy, z toho vyplývají velké nároky na skladovací prostory. Noskiewič (1996) upozorňuje i na nezodpovědné provozování spalovacích zařízení pro biomasu, protože lehce může dojít k výraznému překročení emisních limitů některých škodlivin.

## 2.6 Energetické využití fytomasy

Primárním procesem tvorby výnosu (biomasy) travního porostu je fotosyntéza (Mikulka, 2009). Jak uvádí Mrkvička (1998) komplexní stanovištní podmínky mají velký vliv na výnosnost, ovšem tu určuje i druhové složení. Výnosnost určují i podmínky, ať už relativně stálé, nebo nestálé, neovlivnitelné (klimatické, orografické apod.), tak i ovlivnitelné (vodní a výživný režim, využívání porostu aj.). Obecně zde platí vztah, že trvalý travní porost je víceméně přesnou funkcí komplexu stanovištních podmínek. Plně platí pro původní a přírodní travní porosty, jejichž druhové složení je ve flukтуаční rovnováze s komplexem stanovištních podmínek. Vedle toho seté travní porosty jsou zpočátku ovlivněny především složením vysetých směsí a uvedený rovnovážný stav zde nastupuje až po jejich delší existenci na daném stanovišti (po 8–10 letech). Pokud upravíme stanovištní podmínky (vodní a výživný režim) můžeme dosáhnout zvýšení kvality a výnosnosti TTP. Dle druhové skladby porostů můžeme zjistit kvalitu stanovištních podmínek, dle ní je možné objektivně zhodnotit vodní a výživný režim, což je velmi významné pro praktickou pratotechniku.

Dle Fuksy (2009) závisí způsob využití biomasy na jejích fyzikálních a chemických vlastnostech. Hlavním parametrem je obsah sušiny. Materiál s obsahem sušiny vyšším než 50 % je vhodný k takzvaným suchým procesům získávání energie. Naopak, biomasa s menším obsahem se hlavně využívá k tzv. mokrým procesům získávání energie.

Pastorek (1996) dělí možnosti získávání energie do čtyř skupin. První z nich je termochemická přeměna biomasy (suché procesy), patří sem spalování, zplyňování a pyrolýzu biomasy. Druhá skupina je tvořena biochemickou přeměnou biomasy, takzvané mokré procesy, zahrnující alkoholové a metanové kvašení. Jiná skupina je fyzikální (mechanická - peletování, briketování, drcení apod.) a chemická (esterifikace surových bioolejů) přeměna biomasy. Poslední způsob získávání energie z biomasy může být dle autora využívání odpadního tepla při zpracování biomasy (např. při kompostování). V praxi má největší využití zejména spalování biomasy a výroba bioplynu anaerobní fermentací.

## 2.6.1 Spalování

Jedná se o nejstarší a nejjednodušší formu využití energie biomasy (Behnke a kol., 2012) a dodnes hojně rozšířenou termochemickou přeměnu tohoto materiálu (Werther a kol., 2000; Williams a kol. 2001). Sazima a kol. (1989) definuje spalování jako okysličování látek až na konečné zplodiny reakce s maximálním uvolněním tepla. Ostatní definice popisují spalování jako prudkou oxidační reakci, která probíhá při teplotách od 250 °C výše (Groda, 1995). Při teplotách vyšších než 660 °C dochází k rozkladu organického materiálu (Šimon a Stražil, 2000). Konkrétně jde o reakce exotermické, při kterých se slučují hořlavé prvky s kyslíkem (Pastorek a kol., 2004). Teplota, při ní dochází ke vznícení paliva, se nazývá zápalná. Teplota probíhajícího spalovacího procesu, je teplota hoření (Groda, 1995).

Biomasa má velký podíl prchavé hořlaviny, což je směs hořlavých plynů, uvolňujících se z paliva již při poměrně nízkých teplotách. Tato směs se snadno vznítí a její obsah v palivu a teplota na počátku uvolňování rozhodují o podmínkách zapálení paliva (Noskievič a Kaminský, 1996). Kvůli vysokému podílu této hořlaviny, kinetice jejího spalování a dalším specifickým vlastnostem biomasy, jsou nutné speciální konstrukce kotlů, hlavně co se týče velikosti, uspořádání a prostorového dimenzování topenišť, přívodů spalných vzduchů a řešení teplosměnných ploch (Petříková a kol., 2006). Aby proces spalování probíhal za co nejprůzračnějších podmínek, je nutné spalovat v konkrétním zařízení pouze takové palivo, pro které je určené (Jenkins a kol., 1998; Jevič a kol., 2007). V neupravených topeništích pro fosilní paliva je pálení biomasy technicky možné, ovšem účinnost není vysoká a rovněž vzniká značně velké množství emisí karcinogenních látek a aromatických uhlovodíků (Ochodek a kol., 2006). Khan a kol. (2009) zařazuje mezi hlavní technické problémy nízkou spalovací teplotou a vysoké zastoupení alkalických kovů (zejména draslíku) v biomase, které společně s chlorem, křemíkem a vápníkem způsobují slinování a spékání popelů, zanášení kotle, čímž se snižuje jeho životnost a také emise prachu kovů. Demirbas (2005) varuje i před rizikem koroze částí kotle působením chlóru, který může být v biomase obsažen. Saidur a kol. (2011) považuje za nejvhodnější technologii spalování biomasy ve fluidním loži. Vhodnost této technologie vidí v nižší kvalitě a výhřevnosti paliva, nižší provozní teplotou a vyšším obsahem popela.

Ochodek a kol. (2006) rozděluje čtyři fáze probíhající během spalování biomasy. Proces začíná sušením, při němž se z paliva odstraňuje vlhkost. Následuje pyrolýza a jejím průběhu se začne materiál zahřívat a organická hmota se rozkládá na hořlavé plyny, destilační produkty a zuhelnatělý zbytek. Poté následuje fáze spalování plynné složky, kdy dochází postupným hořením k prodlužování plamene. Konečnou fází spalování pevných složek zuhelnatělý zbytek na roštu za přístupu potřebného množství kyslíku vytváří oxid uhelnatý, který dále oxiduje na oxid uhličitý. Jak uvádí Koloničný a kol. (2010), při jakémkoliv spalování paliva za přítomnosti vzduchu vzniká dané množství látek, které označujeme jako škodliviny. Ty jsou rozdílné dle obsahu chemických prvků v hořlavině. Matřka a Rusek (1994) upozorňují zejména na oxidy dusíku, zejména NO, NO<sub>2</sub> a N<sub>2</sub>O. Darvell a kol. (2012) ukazují na závislost mezi složením biomasy a následnou tvorbou emisí oxidů dusíku a síry. I Fournel a kol. (2015) uvádí, že množství N<sub>OX</sub> a SO<sub>2</sub> v emisích se mění v závislosti na obsahu dusíku a síry v palivu. Pozornost musíme věnovat i složení emisí z hlediska polychlorovaných dibenzodioxinů a dibenzofuranů (Ochodek a kol.2006). Miranda a kol. (2012) poukazuje na nebezpečí přítomnosti benzenu a toluenu ve spalinách. Benzen i toluen může způsobovat plicní infekce a leukémii. Součková a kol. (2006) říká, že pro minimalizaci množství škodlivin v emisích je vhodná teplota hoření 600–800°C. Kára a kol. (2005) doporučuje udržovat teplotu potřebnou pro dokončení všech oxidačních reakcí uhlíku po celou dobu jejich průběhu. Za optimální považuje teplotu 850–900°C. Skála a Ochodek (2007) uvádějí, že moderní provozy již dnes bývají vybaveny řídicími systémy, které automatizují provoz a zajišťují nízké emise.

Využití biomasy jako OZE formou spalování je možné v bioelektrárnách, ale podstatně důležitější je jeho role v menších teplárnách. Teplo může být využíváno například k vytápění budov nebo k ohřevu vody. Ke spalování se používají kamna a kotle různých velikostí a výkonů. Výkon kotlů může být až 3 000 MW. Konstrukce musí být speciálně přizpůsobena pro spalování fytomasy. V současnosti je spalování biomasy po technické stránce stále zdokonalováno. Obsah vody by měl být u stébelnin menší než 20 %, v některých případech je nutné dosoušení (Fuksa, 2009). U fytomasy je při spalování nežádoucí vysoký obsah vody a to hlavně kvůli nižší výhřevnosti (Pastorek, 2004). U stébelnin by neměl dosahovat 20% (Fuksa, 2009). Naopak vlhkost pod 10% je bez nákladného dosoušení jen

málo dosažitelná (Ust'ak, 2006). Porvaz a kol. (2008) navíc říká, že absolutně vysušený organický prach je nebezpečný a může mít charakter výbušniny. Optimální vlhkosti fytohmoty lze dosáhnout správně zvoleným termínem sklizně (Pastorek, 2004), i tak se ovšem často musí palivo dosoušet (Fuksa, 2009). Termín sklizně může mít také vliv na obsah prvků v biomase, který se mění během vegetace. Pozdější termín sklizně, zejména u travin, snižuje koncentraci prvků, které jsou u spalovacích procesů nežádoucí (N, S, K, Na a Cl). Půdní typ může také ovlivnit samotnou koncentraci prvků ve fytohmotě. (Finell a Nilsson, 2005). Také další parametry jsou závislé na termínu sklizně, patří mezi ně například obsah uhlíku, dusíku a prchavé hořlaviny (Reed a Gaur, 2009). Přítomnost dusíku ovšem snižuje obsah jiných látek, což způsobuje výhřevnost paliva (Groda, 1995).

Palivo je také nezbytné upravit do určitých standardizovaných tvarů. Šnobl a kol. (2004) uvádí například obří kvádrové balíky, balíky válcového tvaru, brikety nebo pelety. Podle Fuksy (2009) jsou v českých podmínkách pro spalování vhodné, z jednoletých trav, například lesknice kanárská a proso seté. Výhodnější je ale pěstování trav víceletých a vytrvalých. Jedná se zejména o ovsík vyvýšený, psineček veliký, kostravu rákosovitou, sveřep bezbranný, sveřep horský, chrastice rákosovitou a ozdobnici čínskou. Potenciálně vhodné by mohly být i další trávy: jílek mnohokvětý, bojínek luční, psárka luční, rákos obecný, třtina křovištní a jiné. Šnobl a kol. (2004) uvádí přibližnou výhřevnost stébelnatých plodin 18 MJ na kilogram sušiny. Tento druh biomasy podle něj obsahuje asi 8 % popelovin.

Důležité je ovšem také, kolik nám zbyde popela po spálení biomasy. Popelem se rozumí anorganická část paliva, která zůstane v kotli po spálení organické hmoty obsažené v biomase (Khan a kol., 2009). Na složení a množství popela po spálení má také vliv i půdní eroze a způsob, kterým byla biomasa pěstována. Raclavská a kol. (2013) vyzkoumala, že hustější porosty trav mají na svém povrchu menší poměr anorganických částic zemin na svém povrchu, než pokud je porost méně zapojený. Další vliv na složení popela mohou mít i použítá hnojiva a pesticidy (Vassilev a kol., 2010), a také spalovací podmínky a technologie (James a kol., 2012). Příklad prvků, které byly zjištěny v popelu ze směsi slámy pšenice (50%) a ječmene (50%) uvádí Moskalík a kol. (2008). Nejvíce zastoupeny byly Si, K a Ca, dále byla zjištěna přítomnost Na, Cl, Al, Fe, Mg, Zn, Hg a F. Dle Ochodek a kol. (2006) uvádí, že více alkalických kovů obsahuje popel z biomasy, než popel z uhlí. Popel může také

obsahovat i nežádoucí příměsi, včetně těžkých kovů (Park a kol., 2004). Popel z fytomasy, který nepřevyšuje tyto hodnoty, se dle platné legislativy může také aplikovat na pole jako hnojivo, avšak v maximální dávce 2 t/ha za 3 roky, ovšem v témže roce se nesmí aplikovat také jiné popele a upravené kaly nebo sedimenty (Ochecová, 2015).

## **2.7 Charakteristika vybraných druhů energetických rostlin**

### **2.7.1 *Phalaris arundinacea* L.**

Chrastice rákosovitá, jiným jménem lesknice rákosovitá, je rostlina vytrvalého charakteru náročná na vodu a živiny. Není náročná na agrotechnická opatření a můžeme se u ní dočkat v dobrých podmínkách vysokých výnosů nadzemní fytomasy (Petříková, 2006) Území jejího přirozeného výskytu se rozkládá po celé Evropě, Severní Americe a části Asie (Havlíčková a kol. 2007). Ve Švédsku se pěstuje na velkém území (cca více než 1000 ha). V Pobaltí se uplatňuje více, než například rychle rostoucí dřeviny (Petříková 2006). V České republice je chrastice rákosovitá původní druh a její výskyt je v místech s dostatečnou půdní vlhkostí (Moudrý, Stražil 1999). Tato vlhkomilná rostlina vytváří pobřežní společenstva například s rákosem a ostrícemi. Její předností může být velice efektivní využití zamokřených půd, kde se také často nachází. Pěstování víceletých porostů chrastice rákosovité můžeme považovat za fytomeliorační postup, při tomto postupu se zajišťuje přijatelné vysušení a hospodářské využití zamokřených pozemků (Ust'ak a kol., 2012) Její uplatnění ovšem může být i na pozemcích s nedostatkem či přebytkem vláhy (Šatrůček a kol., 2007).

Chrastici rákosovitou řadíme mezi cizosprašné, vytrvalé a výběžkaté trávy. Patří do čeledi lipnicovitých (*Poaceae*). Je to jedna z našich nejvyšších trav. Často její stéblo dosahuje výšky přes 2 metry. Stébla jsou mohutná a jsou zakončena dlouhou jednostrannou latou (Petříková, 2006). Listy mají tmavozelenou barvu a jsou poměrně dlouhé 10-35 cm a jejich šířka bývá v rozmezí 0,6-2 cm. Tvarem jsou ploché a zašpičatělé do čepele. Listové pochvy jsou hladké, úzké, z dolní strany zřídka drsné a lemování je bílé. Její jazýček je ve velikosti 0,6-1 cm, a je dlouze čárkovitě dělený (Ust'ak a kol., 2007). Má sterilní výhony, které jsou



hustě olistěné. Chrastice rákosovitá se vyznačuje tím, že vytváří v podzemí dlouhé oddenky a ty jsou rozprostřeny těsně pod povrchem půdy (Hutla, 2004). Její kořenový systém je mohutný a proniká do hloubky, díky čemuž zásobuje rostlinu vodou (Šatrůček a kol.2007). Má klásky o velikosti 5-6,5 mm velké, mají kratičkou stopku a jsou zploštělé s jedním květem. Plodem je obilka, která je přibližně 1,7 mm velká. Semena nejsou nijak velká ani těžká, a proto se hmotnost tisíce semen pohybuje okolo 0,8 g. Chrastice v ČR kvete v červnu a červenci (Ust'ak a kol. 2012). Tato rostlina dobře snáší půdní reakci a je velice přizpůsobivá. Snáší tedy pH od 4-7,5. Její optimální pH je ovšem 5 (Petříková, 2006).

### ***2.7.2 Elymus elongatus***

Szarvasi je travina, která pochází z východního Maďarska z města Szarvas. Je odolná proti jarním mrazíkům, to je následkem toho, že její původ vychází ze zimní pšenice (Jonák, 2012). Tato tráva nemá velké nároky na půdu či klima. Je i velice odolná, o tom se zmiňuje také. Její optimální roční rozsah srážek je 200-2100 mm ročně a zvládá i velké rozdíly teplot, v létě snáší i teploty okolo 35°C a v zimě naopak až -35°C. To vyplývá z šetření, které probíhalo na území Maďarska, Číny a Turecka (Csete a kol.2011). Tento autor také udává, že životnost této suchomilné trvalky, která vytváří trsy je 10-15 let. Rostlina není určena pro krmivářské účely, nýbrž jen pro ty energetické. Tato rostlina je specifická tím, že byla vyvinuta jako nahrazení kukuřičné siláže pro bioplynové stanice (Csete a kol. 2011). Szarvasi je vhodná i ke spalování, dokonce vhodnější než například ozdobnice čínská, protože obsahuje nižší hladinu síry a dusíku (Schrabauer, 2010). Tato rostlina má ovšem více výhod, mezi ně patří například i to, že je protierozní, neinvazivní a celkově pro prostředí lepší, než kukuřice. Travina je energeticky výhodná a má v sobě vysoké procento cukru. Její výnosy dosahují 20 t/ha (Jonák, 2012).

Szarvasi má velký vláknitý kořenový systém a kořínky pronikají do hloubky až 3,5 m (Csete a kol. 2011). Při vytvoření tohoto systému je nenáročná na vodu a vytváří kvalitní půdu. Šedo zelený řídce olistěný stonek je robustní a lichý. Listy mají též šedo zelenou barvu a jsou tuhé. Jejich délka může být až 30 cm a šířka 10 cm, povrch je drsný a na vrchní straně jsou žebrované. Díky své silné pokožce, která je na stonku i na listu je rostlina velice tolerantní vůči suchu. Dorůstá může v optimálních podmínkách 180-220 cm. Květenství tvoří

20-30 cm dlouhé lichoklasy, které jsou složené z klasových shluků. Klásek má 7-15 kvítků a plodem je obilka, která dorůstá délky 0,8-1,2 cm ve tvaru kopí. Hmotnost tisíce semen je velmi nízká 2,8-3,5 g (Csete a kol. 2011).

### 2.7.3 *Miscanthus × giganteus*

*Miscanthus* jiným označením též ozdobnice čínská, je vysoká vytrvalá rostlina. V České republice může za optimálních podmínek dosahovat výnosu více než 30 tun sušiny z hektaru (Šimon a Stražil, 1999). Mezi její přednosti patří také odolnost vůči mrazu a chorobám. Pěstování této rostliny se již rozšířilo na pokusná políčka do většiny evropských zemí a testuje se její vhodnost pro energetické účely (Moudrý a Stražil, 1996). Odhaduje se, že její pěstování již zaujímá přibližně 500 ha a asi 80 % z této plochy je v Německu a Nizozemsku (Weger a kol., 2012). Pokusy se už rozšířily i za moře a pěstuje se i v USA (Heaton a kol., 2014). Ozdobnice má více výhod, díky kterým se dosáhne každý rok vysokých výnosů. Patří mezi ně vysoce efektivní využívání vody a dusíku (Weger a kol., 2012). Ovšem má i své velké nevýhody. Jednou z nich je, že v prvním roce po vysazení porostu může dojít k vymrznutí této rostliny. Další nevýhodou mohou být vysoké náklady na sadbu. Její průmyslové a energetické využití je důležité, a proto je přes výše zmíněné problémy i tak významná (Petříková a kol., 2006).

*Miscanthus* je rostlina, která pochází z východní Asie (Menardo a kol., 2013). Ve své původní oblasti rozšíření je používána buď v krmivářství, nebo jako protierozní rostlina. Do Evropy se k nám dostala v roce 1935. Přivezená rostlina měla velký růst a tento klon se nazval jako *Miscanthus sinensis Giganteus*. Z tohoto klonu je již dnes většina výsadby, která se v Evropě používá (Petříková a kol., 2006).

Ozdobnici řadíme do třídy jednoděložné, čeledi lipnicovitých (*Poaceae*) (Porvaz a kol., 2008). Rod, *Miscanthus* zahrnuje dohromady 33 taxonů. Tato rostlina je vytrvalého charakteru a taktéž patří mezi rostliny C4. Její stébla jsou pevná, dřevnatějící a mohou dorůst až do výšky 4 metrů. Lata je široká, okolíkatě patrovitá a větévky jsou odvislé. Klásky mají jemné chloupky. Květy jsou usazeny v nachově hnědých kláscích a tvoří velké laty. Květy *Miscanthus × giganteus* můžeme vzácně vidět pozdě na podzim při dobrých povětrnostních podmínkách. Zelené listy vytrvají i přes zimu, poté ovšem zežloutnou. Oddenky

jsou dřevnaté a krátké. Plné zralosti ozdobnice dosahuje až ve 3-4 letech věku (Wegera kol., 2012). *Miscanthus × giganteus* vznikl křížením tetraploidním *M. sacchariflorus* a diploidním *M. sinensis* (Hodkinson a kol., 2002).

### 3. Cíle a hypotézy

Prvním cílem práce je sledování a vyhodnocení výnosových parametrů vybraných energetických rostlin na pokusném pozemku Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Druhá část práce spočívá v odběru půdních vzorků z těchto porostů, jejich úpravě a stanovení kvality primární půdní organické hmoty pomocí rychlostní konstanty její oxidace.

#### Dílčí cíle

- 1) Hnojení porostů dle stanovené metodiky, odebrání vzorků rostlin v jarním termínu sklizně, vyhodnocení výnosů fytomasy.
- 2) Odběr a úprava půdních vzorků z porostů daných energetických rostlin a přilehlého trvalého travního porostu.
- 3) Analýza vzorků dle metodiky navržené kolektivem Kopecký, Kolář, Batt (2016).
- 4) Vyhodnocení výsledků a jejich porovnání s dostupnými literárními údaji.

#### Hypotézy

- 1) Vyšších výnosů dosáhne druh *Miscanthus × giganteus*. Jedná se o rostlinu typu C4. Tyto rostliny obecně dokáží v procesu fotosyntézy efektivněji využívat sluneční záření, mají i nižší transpirační koeficient.
- 2) Nejvyšší obsah humusu bude zjištěn v půdním vzorku odebraném pod trvalým travním porostem.
- 3) Rychlostní konstanta oxidace primární půdní organické hmoty bude nejvyšší v půdním vzorku odebraném pod trvalým travním porostem.

## 4. Materiál a metodika

### 4.1 Charakteristika lokality

Lokalitu, ze které jsem odebíral vzorky, se nachází na školním pozemku Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích (Obrázek 1). Pozemek leží ve výšce 400 m n. m. Průměrný roční srážkový úhrn je přibližně 520 mm a teplotní průměr v Českých Budějovicích je 8,3 °C. Půda je písčitohlinitá (dle Cassagrande).

Obrázek 1: Pokusná lokalita ZF JU



(Zdroj: Veřejný registr půdy – LPIS)

### 4.2 Údržba porostů a stanovení výnosů

#### 4.2.1 Agrotechnické operace a údržba porostů

Již před zadáním mé bakalářské práce byly založeny maloparcelkové pokusy tří vytrvalých druhů energetických rostlin – *Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1 (30. 8. 2013), *Phalaris arundinacea* L. (Chrastava) 30. 8. 2013), *Miscanthus* × *giganteus* (15. 5. 2014).

Porosty *Elymus elongatus* a *Phalaris arundinacea* L. byly pěstovány ve třech různých intenzitách hnojení. Část byla hnojena minerálními hnojivy, část digestátem z bioplynové

stanice a poslední třetina parcel hnojena nebyla. Dávka digestátu byla odvozena od obsahu dusíku v průměrném digestátu. Stanovena byla tak, aby množství dusíku v aplikované dávce obsažené, bylo totožné jako dávka dusíku, která byla aplikována na porosty hnojené minerálními hnojivy. Termíny hnojení a dávky hnojiv jsou uvedeny v Tabulce 2. Rozměr jedné parcely je 8 · 1,25 m. Každá varianta byla pěstována ve čtyřech opakováních (Tabulka 3).

Tabulka 2: Hnojení porostů *Elymus elongatus* a *Phalaris arundinacea* L.

Datum	Minerální hnojiva	Digestát
22. 4. 2014	Síran amonný 300 kg · ha <sup>-1</sup> Superfosfát trojitý 62,5 kg · ha <sup>-1</sup> Draselná sůl 62,5 kg · ha <sup>-1</sup> Ledek amonný s dolomitem 150 kg · ha <sup>-1</sup>	28 t · ha <sup>-1</sup>
27. 3. 2015	Síran amonný 300 kg · ha <sup>-1</sup> Superfosfát trojitý 62,5 kg · ha <sup>-1</sup> Draselná sůl 62,5 kg · ha <sup>-1</sup> Ledek amonný s dolomitem 150 kg · ha <sup>-1</sup>	28 t · ha <sup>-1</sup>
31. 3. 2016	Síran amonný 300 kg · ha <sup>-1</sup> Superfosfát trojitý 62,5 kg · ha <sup>-1</sup> Draselná sůl 62,5 kg · ha <sup>-1</sup> Ledek amonný s dolomitem 150 kg · ha <sup>-1</sup>	28 t · ha <sup>-1</sup>
8. 3. 2017	Síran amonný 300 kg · ha <sup>-1</sup> Superfosfát trojitý 62,5 kg · ha <sup>-1</sup> Draselná sůl 62,5 kg · ha <sup>-1</sup> Ledek amonný s dolomitem 150 kg · ha <sup>-1</sup>	28 t · ha <sup>-1</sup>

Porost miscanthu je založen na ploše 100 m<sup>2</sup>, sázen byl v rozponu 1 · 0,5 m. Miscanthus byl hnojen ve stejných termínech jako výše zmíněné travní druhy. Aplikována byla hnojiva ledok amonný s dolomitem (dávka 260 kg · ha<sup>-1</sup>), superfosfát superfosfát trojitý (dávka 250 kg · ha<sup>-1</sup>) a draselná sůl (dávka 145 kg · ha<sup>-1</sup>).

Tabulka 3: Rozložení parcel

1 seč			
I8	H8	G8	
Digestát	Intenzivní	Extenzivní	
<i>Phalaris a.</i>	<i>Phalaris a.</i>	<i>Phalaris a.</i>	8
I7	H7	G7	
Digestát	Intenzivní	Extenzivní	
<i>Elymus e.</i>	<i>Elymus e.</i>	<i>Elymus e.</i>	7
I6	H6	G6	
Digestát	Intenzivní	Extenzivní	
<i>Phalaris a.</i>	<i>Phalaris a.</i>	<i>Phalaris a.</i>	6
I5	H5	G5	
Digestát	Intenzivní	Extenzivní	
<i>Elymus e.</i>	<i>Elymus e.</i>	<i>Elymus e.</i>	5
I4	H4	G4	
Digestát	Intenzivní	Extenzivní	
<i>Phalaris a.</i>	<i>Phalaris a.</i>	<i>Phalaris a.</i>	4
I3	H3	G3	
Digestát	Intenzivní	Extenzivní	
<i>Elymus e.</i>	<i>Elymus e.</i>	<i>Elymus e.</i>	3
I2	H2	G2	
Digestát	Intenzivní	Extenzivní	
<i>Phalaris a.</i>	<i>Phalaris a.</i>	<i>Phalaris a.</i>	2
I1	H1	G1	
Digestát	Intenzivní	Extenzivní	
<i>Elymus e.</i>	<i>Elymus e.</i>	<i>Elymus e.</i>	1
I	H	G	

## **4.2.2 Sklizeň fytomasy a stanovení výnosů**

Porost, který má využití pro energetické účely spalováním, se sklízí 1x ročně.

V roce 2017, přesněji tedy 8. 3. 2017 jsem provedl sklizeň fytomasy. Sklízěl jsem z plochy 1x1 metr. Většinu odebraných vzorků jsem ihned zvážil, abych zjistil přesnou hmotnost čerstvé biomasy u konkrétních druhů rostlin, a výnos jsem převedl na plochu 1 hektaru. Také jsem odebral vzorek, který jsem nechal vysušit, abych zjistil hmotnostní rozdíl suchého a čerstvého vzorku. Z rozdílu hodnot jsem určil hektarový výnos čerstvé fytomasy na hektarový výnos sušiny.

## **4.3 Analýza půdních vzorků**

### **4.3.1 Odběr a příprava vzorků**

Na jaře roku 2017 jsem provedl odběr vzorků pro analýzu. Odebrány byly vzorky půd pod všemi zkoumanými energetickými plodinami, ale také i pod trvalým travním porostem. Nejprve musel být ze vzorku odstraněn nadložní diagnostický horizont. Dále jsem rýčem odebral půdní vzorek o velikosti přibližně 30 x 30 x 30 cm. Z každého porostu jsem takto odebral tři vzorky. Následně byla půda rozdrobena, homogenizována a v neposlední řadě usušena po dobu 24 hodin při teplotě 105°C. Z každých tří vzorků jsem homogenizací vytvořil vzorek jeden. Dále byla vytvořena jemnozeme, která byla rozetřena v achátové misce. Dalším krokem bylo její prosetí sítem o velikosti ok 0,25 mm.

### **4.3.2 Stanovení kvality primární půdní organické hmoty**

Primární půdní organickou hmotu a její kvalitu jsem určoval podle nové metodiky, která je popsána v publikacích Kopecký a kol. (2016). Principem této metodiky je oddělené hodnocení primární půdní organické hmoty a humusových látek. Kvalita primární půdní organické hmoty je hodnocena zjištěním rychlostní konstanty oxidace PPOH.

#### **4.3.2.1 Postup laboratorních prací (Kopecký a kol., 2016)**

1. Do pěti kádinek, které jsem si označil čísly 1-5 se naváží přesně 0,200 g analyzované jemnozeme II.



2. Do těchto a dalších třech prázdných kádinek (označení 3S, 4S, 5S) je přidáno 10 ml chromsírové spalovací směsi (0,4 mol/l) a krouživými pohyby kádinkou je zemina rozptýlena v kapalině.
3. Všechny kádinky jsou vloženy do předem vyhřátého termostatu (60°C), čímž je katalyzována oxidační reakce POPH s dichromanem draselným.
4. V přesně stanovených intervalech jsou kádinky postupně vyjímány a ihned zchlazovány v předem připravené vodní lázni (zastavení oxidační reakce).

10. minuta – č. 1

20. minuta – č. 2

30. minuta – č. 3 a 3S

45. minuta – č. 4 a 4S, přesun kádinek 5 a 5S na 30 minut do termostatu předehřátého na 100 °C, kde je PPOH dále oxidována.

5. Po zchlazení je obsah kádinek filtrován pomocí podtlakové aparatury přes fritu.
6. Do filtrátu je přidáno 2,5 ml kyseliny orthofosforečné (85% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) a 5 kapek difenylaminového indikátoru.
7. Takto upravený filtrát je titrován roztokem Mohrovy soli (0,1 mol/l) do bodu ekvivalence (roztok mění barvu ze špinavě hnědé přes modrofialovou do modrošedé).
8. Pro zjištění procentuálního množství zoxidovaného organického uhlíku, je spotřeba roztoku Mohrovy soli vzorků č. 1-5 zanesena do vzorce:

$$\% C_{OX} = \frac{(a - b) \cdot 0,03 \cdot f}{g}$$

kde:

a = ml roztoku Mohrovy soli na slepý pokus bez zeminy (pro č. 1, 2, 3 spotřeba v 3S, pro č. 4 spotřeba v 4S, pro č. 5 spotřeba v 5S)

b = ml roztoku Mohrovy soli na vzorek (kádinky č. 1-5)

f = faktor Mohrovy soli (faktor je, z důvodu zachování přesnosti výpočtů, stanovován vždy před každým novým měřením).

g = navážka vzorku půdy v g

Získané hodnoty jsou zaneseny do předem naprogramovaného souboru (MS Excel), který automaticky provede výpočet rychlostní konstanty oxidace PPOH (dle zmiňované metodiky). V příloze je pro ilustraci vložen Obrázek 2 a 3. Každý půdní vzorek byl pro větší přesnost analyzován čtyřikrát a ze zjištěných hodnot byl vypočten medián, který minimalizuje ovlivnění výsledku možnou náhodnou chybou při stanovení.

### **4.3.3 Stanovení obsahu humusu a stupně humifikace**

Odebrané půdní vzorky jsem analyzoval na přístroji Skalár, který dokáže zjistit celkové množství uhlíku ve vzorku (TOC) a také množství anorganického uhlíku (IC). Odečteme-li IC od TOC, zjistíme celkové množství organického uhlíku ( $C_2$ ). Již dříve zjištěná hodnota  $C_1$  nám udává množství organického uhlíku náležejícího PPOH. Pokud provedeme výpočet  $C_2 - C_1$ , výsledkem bude množství uhlíku, který náleží humusu. Stanovit stupeň humifikace půdní organické hmoty můžeme takto:

$$S_H = \frac{C_2 - C_1}{C_2} \cdot 100 [\%]$$

## 5. Výsledky a diskuze

### 5.1 Výnos fytomasy

Z mých pokusů, které jsem provedl na pozemku fakulty, vyplývá, že výnosy jsou zde nižší, než by u uvedených rostlin měly být při porovnání s literárními údaji. Za nízkými výnosy nejspíše stojí méně úrodné půdy a ne úplně nejlepší podmínky pro pěstování všech rostlin. Letošní sklizeň *Miscanthus* × *giganteus* dopadla ovšem dobře. V Tabulce 4. Jsou shrnuty hektarové výnosy suché hmoty všech sledovaných druhů. Vzorky jsem odebíral z políček, které jsou hnojeny intenzivně. Snažil jsem se o maximalizaci výroby. Z tabulky je patrné, že v souladu s hypotézou č. 1 dosáhl nejvyššího průměrného výnosu *Miscanthus* × *giganteus*, který patří mezi rostliny typu C4.

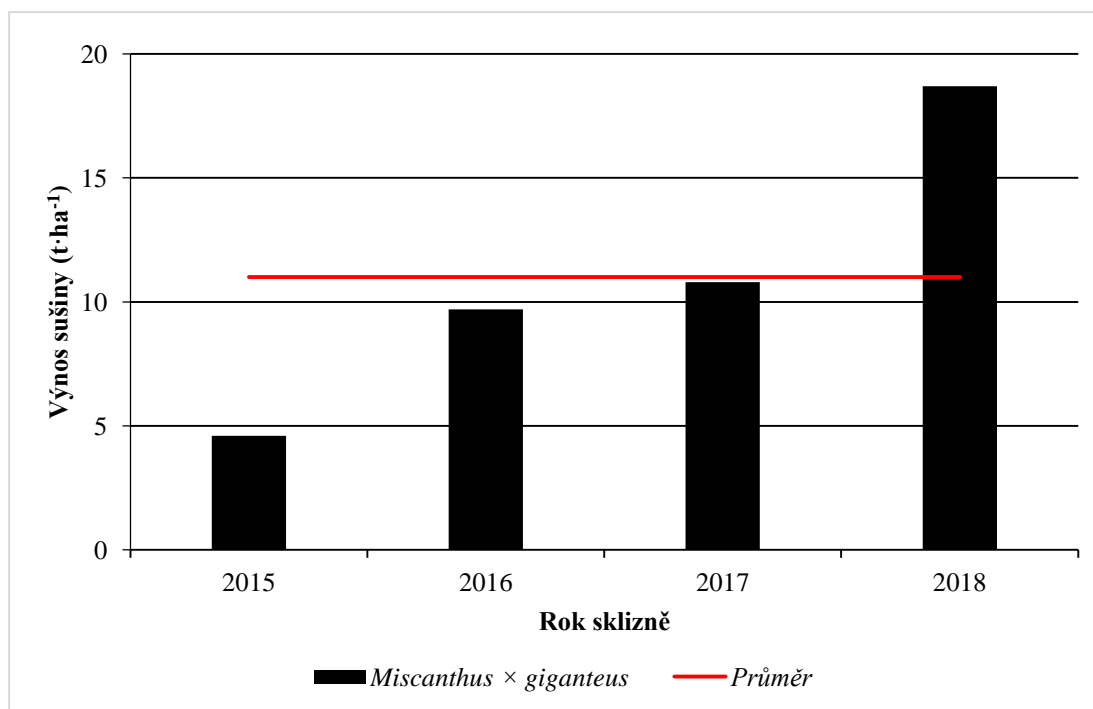
Tabulka 4: Výnosy suché hmoty na lokalitě v Českých Budějovicích v tunách z hektaru na intenzivně hnojeném políčku.

Druh	2015	2016	2017	2018	Průměrný výnos
<i>Elymus elongatus</i> L.	8,9	8,9	8,1	6,6	8,1
<i>Phalaris arundinacea</i> L.	4,3	5,4	5,8	5,6	5,3
<i>Miscanthus</i> × <i>giganteus</i>	4,6	9,7	10,8	18,7	11,0

Šimon a Stražil (1999) uvádějí, že výnos *Miscanthus* × *giganteus* by v České republice za optimálních podmínek mohl dosahovat výnosu suché hmoty 30 tun z hektaru, ovšem v mé práci jsem těchto výnosů z daleka nedosáhl. Příčinou mohou být horší agrochemické vlastnosti půd. Nicméně například Scurlock (1999) uvádí výnosy v rozsahu 12-18 tun suché hmoty na hektar. Tato hranice byla při sklizni v roce 2018 dokonce překonána. Výnosy suché hmoty v jednotlivých letech sklizní jsou znázorněny v Grafu 1. Výnosy sušiny u této rostliny by se měly zvyšovat až po šestém roce jejího pěstování, to se potvrdilo. Nejvhodnější termín

pro sklizeň je únor až březen, protože jsou nejmenší náklady na dosoušení, jak uvádí Petříková (2006). Vlhkost u porostu v této době je přibližně 22-38 %. Pokud ovšem sklizeň provádíme po zimě, bývají ztráty až 30 % (Koloničný a Hase, 2011).

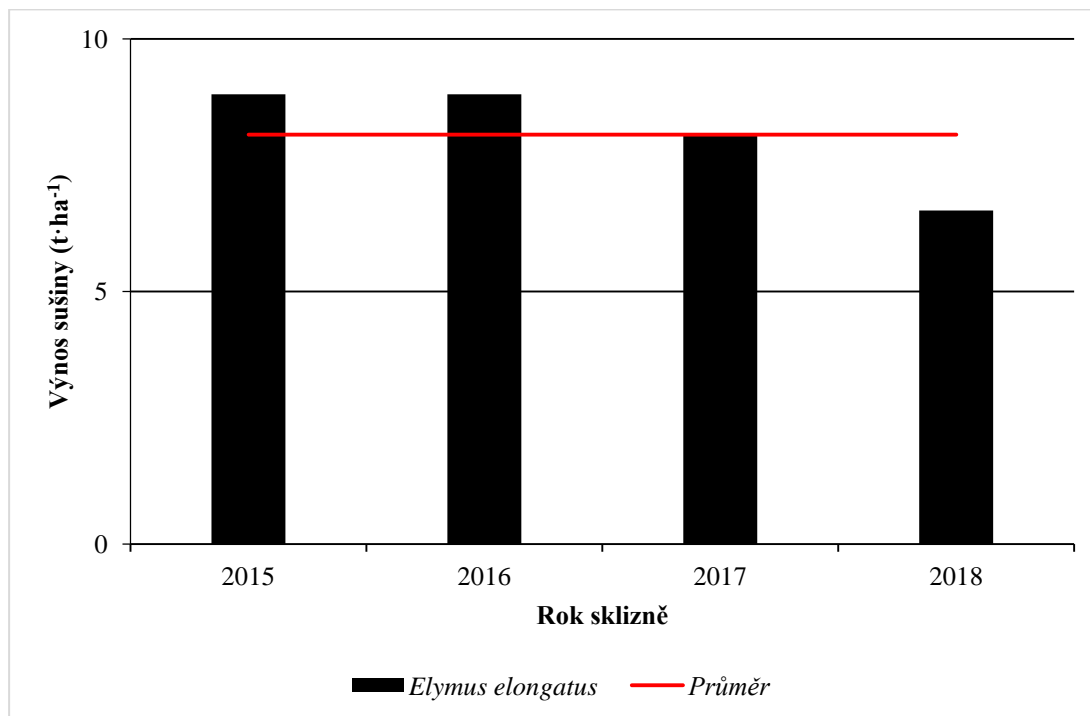
Graf 1: Výnos sušiny u porostu *Miscanthus × giganteus*



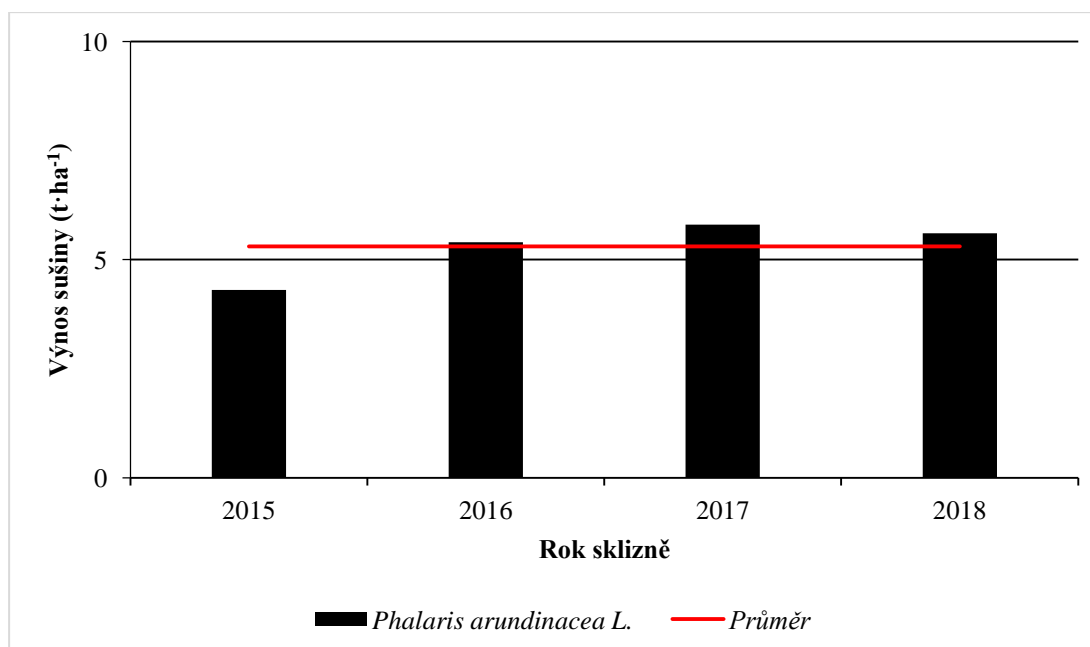
Graf 2 zobrazuje výnosy druhu *Elymus elongatus*. Údaje v odborné literatuře přisuzují tomuto druhu vysoký výnosový potenciál. Mast a kol. (2014) publikovali výnosy 8,9–13,4 t·ha<sup>-1</sup> v závislosti na termínu sklizně. Jonák (2012) píše, že výnosy *Elymus elongatus* by měly dosahovat i 20 t·ha<sup>-1</sup> a suché hmoty. Těchto výnosů však v našem pokusu dosáhnuto nebylo. Naopak lze od roku 2016 pozorovat trend snižování výnosů. V roce 2018 byl dokonce výnos dosti podprůměrný.

*Phalaris arundinacea* L. by dle Petříkové (2006) měla dosahovat výnosu suché hmoty v rozmezí 4,5- 9 t·ha<sup>-1</sup>. Sahramaa a kol. (2003) uvádí průměrnou sklizeň sušiny chřastice kolem 10 t·ha<sup>-1</sup>. Námi získané výnosy se pohybují v rozmezí od 5,4 – 5,6 t·ha<sup>-1</sup>. Tyto hodnoty uvádí Petříková (2006). Naše výnosy se po jednotlivé roky příliš neměnily, výnosy byly tedy více méně stabilní. Všechny zaznamenané výsledky můžeme vidět v Grafu 3.

Graf 2: Výnos sušiny u porostu *Elymus elongatus*



Graf 3: Výnos sušiny u porostu *Phalaris arundinacea* L.



## 5.2 Rychlostní konstanta oxidace primární půdní organické hmoty

Z Tabulky 5 lze vyčíst množství organického uhlíku, které zoxidovalo v jednotlivých vzorcích v daných časových intervalech. V prvních deseti minutách oxidují nejlabilnější složky organické hmoty. Největší zastoupení těchto složek bylo zjištěno v půdním vzorku z trvalého travního porostu. Tato skutečnost se nezměnila v žádném ze zkoumaných časů. Tento fakt můžeme přikládat tomu, že porost je zde nejdéle a má výrazně vyvinutý kořenový systém. Lze tedy předpokládat i největší zastoupení kořenových exsudátů v půdě, které se řadí právě mezi nejlabilnější složky půdní organické hmoty. Z tabulky je zřejmé také to, že ve všech časech zoxidovalo nejméně organického uhlíku ze vzorku odebraného pod *Miscanthus* × *giganteus*. Lze tedy usuzovat, že kořenový systém tohoto druhu nepůsobí ideálně jako zdroj primární půdní organické hmoty. U ostatních porostů se hodnoty v mediánu, který jsem udělal u každého porostu ze čtyř opakování, nijak nelišily. Za pozornost snad stojí jen mírně zvýšený obsah zoxidovaného organického uhlíku u porostu *Elymus elongatus* po 45 minutách v porovnání s *Miscanthus* × *giganteus* a *Phalaris arundinacea* L.

Tabulka 5 : C<sub>OX</sub> stanovený při oxidaci 0,4 mol/l M K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> v 12 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> při 60 °C za dobu 10, 20, 30 a 45 minut a C<sub>OX</sub> (C<sub>1</sub>), který byl stanoven po oxidování po dobu dalších 30 minut při teplotě 100 °C

Druh	Opakování	C <sub>OX1</sub> (%) – 10 min	C <sub>OX2</sub> (%) – 20 min	C <sub>OX3</sub> (%) – 30 min	C <sub>OX4</sub> (%) – 45 min	C <sub>1</sub> (%) – 75 min
<i>Miscanthus × giganteus</i>	1	1,20	1,48	1,64	1,74	2,18
	2	1,17	1,52	1,63	1,73	2,14
	3	1,15	1,45	1,63	1,75	2,09
	4	1,17	1,45	1,63	1,75	2,11
	<b>medián</b>	<b>1,17</b>	<b>1,47</b>	<b>1,63</b>	<b>1,75</b>	<b>2,12</b>
<i>Elymus elongatus</i>	1	1,22	1,54	1,69	1,88	2,32
	2	1,25	1,50	1,73	1,94	2,36
	3	1,17	1,52	1,69	1,85	2,25
	4	1,22	1,58	1,72	1,82	2,32
	<b>medián</b>	<b>1,22</b>	<b>1,53</b>	<b>1,70</b>	<b>1,86</b>	<b>2,32</b>
<i>Phalaris aranudinacea</i> L.	1	1,20	1,56	1,68	1,78	2,23
	2	1,22	1,53	1,66	1,73	2,15
	3	1,22	1,49	1,65	1,72	2,23
	4	1,22	1,52	1,67	1,86	2,16
	<b>medián</b>	<b>1,22</b>	<b>1,52</b>	<b>1,66</b>	<b>1,76</b>	<b>2,20</b>
TTP	1	1,36	1,68	1,93	2,07	2,53
	2	1,38	1,72	1,88	2,03	2,64
	3	1,35	1,74	1,96	2,08	2,60
	4	1,36	1,73	1,92	2,03	2,54
	<b>medián</b>	<b>1,36</b>	<b>1,73</b>	<b>1,92</b>	<b>2,05</b>	<b>2,57</b>

K získání hodnoty C<sub>1</sub> bylo třeba půdní vzorek vložit na dalších 30 minut do pece, která byla vyhřátá na 100 °C. Tato hodnota nám udává procentuální zastoupení primární půdní organické hmoty ve vzorku. I zde byl zjištěn největší obsah zoxidovaného organického uhlíku u vzorku z trvalé travní kultury.

Obsah celkového organického uhlíku byl velmi podobný u všech pěstovaných druhů. Vzorek z TTP opět vykazuje nejvyšší hodnotu (2,91%). Zaujec a kol. (2009) považuje obsah organického uhlíku nižší, než jedno procento jako velmi nízký a naopak více, než 6%, jako obsah vysoký

Tabulka 6: Obsah celkového organického uhlíku, obsah humusu a stupeň humifikace  $S_H$

Druh	Opakování	TOC (%) (celkový org. uhlík)	Obsah humusu (%)	Stupeň humifikace $S_H$ (%)
<i>Miscanthus × giganteus</i>	1	2,43	0,25	10,36
	2		0,29	11,91
	3		0,34	13,90
	4		0,32	13,26
	<b>medián</b>		<b>0,31</b>	<b>12,59</b>
<i>Elymus elongatus</i>	1	2,48	0,16	6,38
	2		0,12	4,86
	3		0,23	9,43
	4		0,16	6,47
	<b>medián</b>		<b>0,16</b>	<b>6,42</b>
<i>Phalaris aranudinacea</i> L.	1	2,44	0,21	8,77
	2		0,29	11,71
	3		0,21	8,58
	4		0,28	11,27
	<b>medián</b>		<b>0,24</b>	<b>10,02</b>
TTP	1	2,91	0,38	13,08
	2		0,27	9,26
	3		0,31	10,80
	4		0,37	12,85
	<b>medián</b>		<b>0,34</b>	<b>11,82</b>

V Tabulce 6 vidíme obsah humusu a stupeň humifikace  $S_H$  u půd z jednotlivých porostů. Z výsledků nám vyplývá, že největší obsah humusu máme, dle očekávání (hypotéza č. 2), u půd trvalých travních porostů. Nejvyšší stupeň humifikace byl ovšem zjištěn u půdy z porostu *Miscanthus × giganteus*. Nejmenší hodnoty u zkoumaných ukazatelů vykazoval porost *Elymus elongatus*.

Stupeň humifikace hodnotí řada autorů, mezi nimi například Sotáková (1988). Hodnoty pod 10% považuje za velmi slabé. Pokud je v rozmezí 10-20 %, potom mluvíme o stupni humifikace slabém. Střední stupeň humifikace nám značí procentuální zastoupení



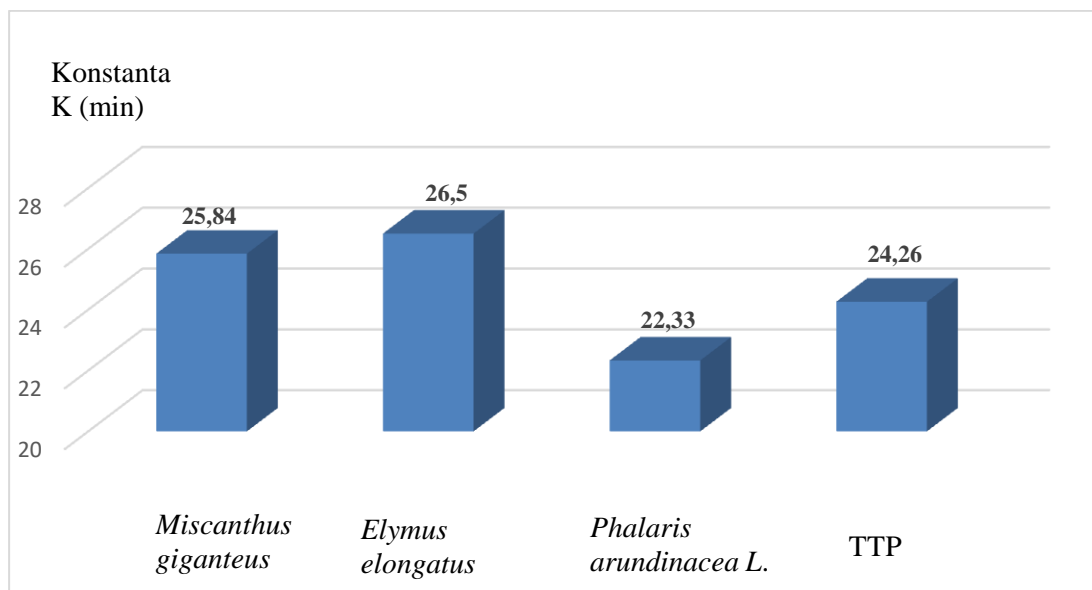
v rozmezí 20-30 %. Pokud dosáhneme nad 30 %, je stupeň vysoký a nad 40 % dokonce velmi vysoký. Zjištěné výsledky však s těmito hodnotami nelze srovnávat, protože mé výsledky byly zjišťovány odlišnou metodou. Při té je společně s primární organickou hmotou zoxidoována i část méně stabilních fulvokyselin, a proto výsledky v porovnání s klasickými metodami vycházejí nižší (Kopecký a kol., 2016).

Nejvyšší obsah celkového organického uhlíku byl zjištěn opět u trvalých travních porostů. Hodnoty u ostatních porostů jsou prakticky stejné, nejsou zde velké rozdíly. Nejmenší zastoupení má *Miscanthus × giganteus*, což lze odůvodnit nepříliš bohatým kořenovým systémem, který tvoří krátké dřevnaté oddenky, a proto nelze očekávat velké množství kořenových exsudátů, které půdu o organický uhlík obohacují.

Sáňka a Materna (2004) uvádějí výsledky Bazálního monitoringu zemědělských půd ČR. Mezi hodnocenými parametry byl zařazen i obsah  $C_{OX}$  (%). Pro pseudogleje (které jsou i na pokusné lokalitě v Českých Budějovicích) uvádějí jako nejnižší zjištěné hodnoty 1,16%, medián 1,67%, střední hodnoty 1,86% a nejvyšší zaznamenaná hodnota byla 3,13%. Námi analyzované půdy měly obsahy v horní části tohoto intervalu. Nicméně obsah oxidovatelného uhlíku je poměrně proměnlivým parametrem závislým na mnoha faktorech. Například Valla a kol. (2000) zjistil, že obsah  $C_{OX}$  ovlivňuje dvakrát více četnost sečí, než intenzita hnojení.

Kvalitu primární půdní organické hmoty můžeme určit dle hodnoty rychlostní konstanty její oxidace, kterou můžeme zjistit po stanovení reakční kinetiky oxidace půdního uhlíku. Čím je hodnota konstanty vyšší, tím je frakce méně stabilní a díky tomu můžeme říct, že je PPOH kvalitnější, protože snadněji podléhá mineralizačním procesům a opětovně uvolňuje do půdy živiny. Vzhledem k tomu, že se jedná o novou metodu hodnocení, neexistují v literatuře relevantní data pro srovnání. Nicméně při porovnání námi analyzovaných vzorků můžeme vidět (Graf 4), že hodnoty jsou velmi podobné. Navzdory předpokladu (hypotéza č. 3) nebyla hodnota rychlostní konstanty oxidace primární půdní organické hmoty vzorku půdy z trvalého travního porostu nejvyšší. Nejlépe se jevil vzorek půdy z porostu *Elymus elongatus* a na základě těchto výsledků lze konstatovat, že primární půdní organická hmota je v porovnání s ostatními vzorky kvalitnější.

Graf 4: Rychlostní konstanta oxidace PPOH



## 6. Závěr

Zde bych rád shrnul výsledky mé práce. Cílem mé práce bylo sledování výnosů a zhodnocení vhodnosti jednotlivých energetických rostlin (*Phalaris aruginacea* L., *Elymus elongatus*, *Miscanthus* × *giganteus*) pro účely energetického využití spalováním. Nejvyšší průměrný výnos suché hmoty byl zaznamenán u porostu *Miscanthus* × *giganteus* (11 t·ha<sup>-1</sup>). Tato plodina by mohla být dobrou alternativou k environmentálně ne příliš vhodné kukuřici, jež je pro energetické účely často pěstována.

Dále jsem odebral půdní vzorky pod porosty těchto rostlin a také půdu z trvalého travního porostu pro srovnání. V upravených půdních vzorcích jsem hodnotil vybrané půdní vlastnosti související s půdní organickou hmotou. Pomocí nové metody (Kopecký a kol., 2016) jsem hodnotil kvalitu primární půdní organické hmoty prostřednictvím rychlostní konstanty její oxidace. Dále byl stanoven obsah humusu a stupeň humifikace.

Z hlediska kvality primární půdní organické hmoty se nejlépe jevil vzorek z porostu *Elymus elongatus*. Naopak v parametrech množství humusu a stupni humifikace tato půda dopadla v porovnání s ostatními vzorky nejhůře. Nejvyšší obsah humusu byl zjištěn ve vzorku z trvalého travního porostu. Nejvyšším stupněm humifikace se vyznačovala půda, která pocházela z porostu *Miscanthus* × *giganteus*.

## 7. Použitá literatura

1. Baldock, J. A. & Nelson, P. N. (2000). Soil organic matter. In M. E. Sumner (Eds.), *Handbook of Soil Science* (pp. B25–B84). Boca Raton: CRC Press.
2. 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(4), 801–813. DOI: 10.1007/s12155-012-9191-5.
3. Csete, S., Stranczinger, S., Szalontai, B., Farkas, A., Pál, R. W., Salamon-Albert, E., & Walcz, I. (2011). Tall wheatgrass cultivar Szarvasi-1 (*Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1) as a potential energy crop for semi-arid lands of Eastern Europe. In *Sustainable Growth and Applications in Renewable Energy Sources*. InTech.
4. Darvell, L. I., Brindley, C., Baxter, X. C., Jones, J. M., & Williams, A. (2012). Nitrogen in biomass char and its fate during combustion: a model compound approach. *Energy & Fuels*, 26(11), 6482–6491. DOI: 10.1021/ef201676t
5. Darwish, O. H., Persaud, N., & Martens, D. C. (1995). Effect of long-term application of animal manure on physical properties of three soils. *Plant and Soil*, 176(2), 289–295.
6. Demirbaş, A. (2005). Potential applications of renewable energy sources, biomass combustion problems in boiler power systems and combustion related environmental issues. *Progress in energy and combustion science*, 31(2). 171–192. DOI: 10.1016/j.pecs.2005.02.002.
7. Finell, M., & Nilsson, C. (2005). Variations in ash content, pulp yield, and fibre properties of reed canary-grass. *Industrial Crops and Products*, 22(2), 157–167. DOI: 10.1016/j.indcrop.2004.08.003.
8. Forman, R.T.T., & Gordon, M. (1993). *Krajinná ekologie*. Praha, Czech Republic: Academia.
9. Fournel, S., Palacios, J. H., Godbout, S., & Heitz, M. (2015). Effect of Additives and Fuel Blending on Emissions and Ash-Related Problems from Small-Scale Combustion of Reed Canary Grass. *Agriculture*, 5(3), 561–576. DOI:10.3390/agriculture5030561

10. Fuksa, P. (2009). *Netradiční využití biomasy v praxi*. Citováno 27. 2. 2018. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/netradicni-vyuziti-biomasy-v-praxi>.
11. Ghani, A., Dexter, M., & Perrott, K. W. (2003). Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation. *Soil biology and biochemistry*, 35(9), 1231–1243. ISSN : 0038- 0717
12. Groda, B. (1995). *Technika zpracování odpadů*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita.
13. Hauptman, I., Zimová, M., (2009) *Koncepce ochrany půdy – stávající a připravovaná legislativa*,
14. Havlíčková, K., Weger, J., Konvalina, P., Moudrý, J., & Stražil, Z. (2007). Zhodnocení ekonomických aspektů pěstování a využití energetických rostlin. *Průhonice, Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, České Budějovice, Jihočeská univerzita*, 92.
15. Haynes, R. J. (2005): Labile Organic Matter Fractions as Central Components of the Quality of Agricultural Soils. *Advances in Agronomy*, 85, 221-268. ISBN 0-12-000783-5
16. 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>
17. 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. DOI.org/10.3732/ajb.89.2.279
18. Hutchinson, J. J., Campbell, C. A., & Desjardins, R. L. (2007). *Some perspectives on carbon sequestration in agriculture*. *Agricultural and forest meteorology*, 142(2), 288–302. DOI : 10.1013/j.agrformet. 2006.03.030
19. Hutla, Petr: Chrástice rákosovitá- pěstování a možnosti využití. *Biom.cz* [online]. 2004-03-10 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/chrastice-rakosovita-pestovani-a-moznosti-vyuziti>>. ISSN: 1801-2655

20. Chapin, F, P Matson a Harold A Mooney (2002). *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. New York: Springer, 436 s. ISBN 0-387-95443-0.
21. James, A. K., Thring, R. W., Helle, S., & Ghuman, H. S. (2012). Ash management review—applications of biomass bottom ash. *Energies*, 5(10), 3856–3873. DOI:10.3390/en5103856
22. Jandák, J., Pokorný, E., & Prax, A. (2010). *Půdoznalství*, Brno, Czech Republic: Mendel University in Brno.
23. Jenkins, B., Baxter, L. L., & Miles, T. R. (1998). Combustion properties of biomass. *Fuel processing technology*, 54(1), 17–46.
24. Jevič, P., Hutla, P., Malat'ák, J., Šedivá, Z.: (2007) Efficiency and gases emissions with incineration of composite and one-component biofuel briquettes in room heater. [Účinnost a plynné emise při spalování kompozitních a jednosložkových biopalivových briket ve vyhřívacích kamnech]. *Research in agricultural engineering*, vol. 53, No. 3, s. 94 -102.
25. JONÁK, K.: Důležitost rostlin pro energetické využití bioplynových stanic, [online], PDF.[cit. 2017-09-18]  
In: <http://www.asz.cz/cs/odborne-clanky/roslinnavyroba/dulezitest-rostlin-pro-energeticke-vyuziti-bioplynovych-stanic.html>
26. Kalina, M. (2004), *Kompostování a péče o půdu*, Grada publishing, 116 s.
27. Kára, J., Strašil, Z., Hutla, P., & Ust'ak, S. (2005). *Energetické rostliny: Technologie pro pěstování a využití*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky.
28. Khan, A. A., De Jong, W., Jansens, P. J., & Spliethoff, H. (2009). Biomass combustion in fluidized bed boilers: potential problems and remedies. *Fuel processing technology*, 90(1), 21-50. DOI.org/10.1016/j.fuproc.2008.07.012
29. Kolář, L., Moudrý, J., Kopecký, M. (2014) *Humus*. Vydání první. Náměšť nad Oslavou: ZERA -Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s., 25 stran. ISBN 978-80-87226-34-6
30. Koloničný, J., Bogoczová, V., & Horák, J. (2010). *Postupy správného topení*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.

31. Koloničný, J., Hase V. (2011): *Využití rostlinné biomasy v energetice*. 1. vydání  
Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-248-2541-0.
32. Kopecký, M., Kolář, L., Borová-Batt, J. (2016). The new method of determination of the quantity and quality of primary soil organic matter and humus. *Proceedings from International Conference Soil – the non-renewable environmental resource*, pp. 135–142.
33. Kozák, J., Němeček, J., Matula, S., Valla, M., & Borůvka, L. (2008). *Pedologie*. Praha: Česká Zemědělská univerzita.
34. Kratina, J, Boruvka L, Tejnecky V, Drabek O, and Sebek O (2010). Differences in characteristics of mountain forest soils on acid and basic parent rocks. *Geological research in Moravia and Silesia*, 17(1-2). pp. 50-57.
35. Lal, R., Follett, R. F., Stewart, B. A., & Kimble, J. M. (2007). Soil carbon sequestration to mitigate climate change and advance food security. *Soil science*, 172(12), 943–956. doi: 10.1097/ss.0b013e31815cc498
36. Lalande, R, Gagnon B, & Royer I (2009). Impact of natural or industrial liming materials on soil properties and microbial activity. *Canadian journal of soil science*. 89(2). pp. 209-222.
37. Leroy, B. L. M., Herath, H. M. S. K., Sleutel, S., De Neve, S., Gabriels, D., Reheul, D., & Moens, M. (2008). The quality of exogenous organic matter: short-term effects on soil physical properties and soil organic matter fractions. *Soil use and management*, 24(2), 139–147.
38. Lützow, M. V., Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Matzner, E., Guggenberger, G., Marschner, B., & Flessa, H. (2006). Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions—a review. *European Journal of Soil Science*, 57(4), 426-445. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2006.00809.x
39. Maia, S. M. F. (2007): Organic carbon pools in Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará – Brasil. *Agroforestry Systems*, 71, 1: 127-138. DOI 10.1007/s10457-007-9063-8
40. Mast, B., Lemmer, A., Oechsner, H., Reinhardt-Hanis, A., Claupein, W., & Graeff-Hönninger, S. (2014). Methane yield potential of novel perennial biogas crops

- influenced by harvest date. *Industrial Crops and Products*, 58, 194–203.  
DOI.org/10.1016/j.indcrop.2014.04.017
41. Matrká, M., Rusek, V., (1994). *Průmyslová toxikologie: úvod do obecné a speciální toxikologie*. 2. nezměň. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, ISBN:80-85113-85-6.
  42. 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 CO<sub>2</sub> in greenhouses. *Bioenergy Research*, 6, s. 620-630. DOI 10.1007/s12155-012-9280-5
  43. Mikulka, J., Kohoutek, A., Klír, J., (2009). *Metody regulace plevelů na trvalých travních porostech: uplatněná certifikovaná metodika pro praxi*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 40 s. ISBN 978-80-7427-012-3.
  44. Milerski, Rudolf. (2005) *Nauka o krajině*. Brno: Vysoké učení technické v Brně.
  45. Miranda, T., Román, S., Montero, I., Nogales-Delgado, S., Arranz, J. I., Rojas, C. V., & González, J. F. (2012). Study of the emissions and kinetic parameters during combustion of grape pomace: Dilution as an effective way to reduce pollution. *Fuel processing technology*, 103, 160–165.  
DOI. org/10.1016/j.fuproc.2011.10.002
  46. Moskalík, J., Baláš, M., Lisý, M., & Bogdálék, J. (2008) *Tavení popele z biomasy*. In *Energie z biomasy IX (rok 2008)*, (pp. 93–97). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
  47. Motlík, J., Šamánek, L., Štekl, J., Pařízek, T., Bébar, L., Lisý, M., & Vašíček, J. (2007). *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění, v ČR*. Praha: ČEZ.
  48. Moudrý, J., Stražil, Z. (1996). *Alternativní plodiny*, České Budějovice, Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 90 s.
  49. Moudrý, J., Stražil, Z. (1999). *Pěstování alternativních plodin*. České Budějovice, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích Zemědělská fakulta, 165 s., ISBN 80-7040-383-7.
  50. Mrkvička, J. (1998). *Pastvinářství*. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 82 s.
  51. Musil, P. (2009). *Globální energetický problém a hospodářská politika-se zaměřením na obnovitelné zdroje*. Praha. Nakladatelství C. H. Beck.



52. Noskievič, P., Juchelková, D., & Čech, B. (1996). *Biomasa a její energetické využití*. Ostrava. Vysoká škola báňská-Technická univerzita.
53. Ohecová, P. (2015). Popel z biomasy-významný zdroj živin: *Biom.cz*[online]. 2015-01-19 [cit. 2018-04-02]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/popel-z-biomasy-vyznamny-zdroj-zivin>. ISSN: 1801-2655
54. Ochodek, T., Koloničný, J., & Janásek, P. (2006). *Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy*. Ostrava: Vysoká škola báňská-Technická univerzita.
55. Orlov, D., (1985). *Chimija počv (Soil Chemistry)*. Moskva: Izd. MGU
56. Park, B. B., Yanai, R. D., Sahm, J. M., Ballard, B. D., & Abrahamson, L. P. (2004). Wood ash effects on soil solution and nutrient budgets in a willow bioenergy plantation. *Water, Air, & Soil Pollution*, 159(1), 209–224. DOI.org/10.1023
57. Parras-Alcántara, L., Díaz-Jaimes, L., & Lozano-García, B. (2015). Organic farming affects C and N in soils under olive groves in Mediterranean areas. *Land degradation & development*, 26(8), 800-806.. DOI.org/10.1002/ldr.2231
58. Pastorek, Z, Kára, J, & Jevič, P. (2004). *Biomasa obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC public.
59. Pastorek, Z. (1996). Využití biomasy k energetickým účelům v zemědělství. In *Ekologické aspekty využití a výroby energie v zemědělství*. s. 5-6.
60. Petříková, V., Sladký, V., Stražil, Z., Šafařík, M., Ust'ak, S., & Váňa, J. (2006). Energetické plodiny. Praha. Ed.: Profi Press, sro
61. Petříková, V.: Biomasa z energetických rostlin. *Biom.cz* [online]. 2006-04-19 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-z-energetickych-rostlin>>. ISSN: 1801-2655.
62. Porvaz, P., Mati, R., Kotorová, D., & Jakubová, J. (2008). *Pestovanie ozdobnice čínskej (Miscanthus sinensis Anderss.) na energetické účely*, (metodická příručka). Michalovce: SCPV – Ústav agroekológie.
63. Pospíšilová, L., Tesařová M. (2009). *Organický uhlík obhospodařovaných půd: Organic carbon in arable soils : původní vědecká práce*. Vyd. 1. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 42 s. Folia Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. ISBN 978-80-7375-282-

64. Quaschnig, V. (2010). *Obnovitelné zdroje energií*. Grada Publishing a.s. 296 s.
65. Raclavská, H., Frydrych, J., Andert, D.: Význam popelovin v travní biomase pro energetické účely. *Biom.cz* [online]. 2013-09-23 [cit. 2018-02-05]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyznam-popelovin-v-travni-biomase-pro-energeticke-ucely>>. ISSN: 1801-2655.
66. Reed, T. B., & Gaur, S. (2009). *An atlas of thermal data for biomass and other fuels*. Biomass Energy Foundation Press.
67. Sahramaa, M., Ihamäki, H., & Jauhiainen, L. (2003). Variation in biomass related variables of reed canary grass. *Agricultural and Food Science*, 12(3-4), 213-225.
68. Saidur, R., Abdelaziz, E. A., Demirbas, A., Hossain, M. S., & Mekhilef, S. (2011). A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(5), 2262–2289.
69. Sáňka, M., & Materna, J. (2004). *Indikátory kvality zemědělských a lesních půd*, Česká republika, Ministerstvo životního prostředí.
70. Sazima M., Kmoníček, V., & Schneller J. (1989). *Teplota*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.
71. Scurlock, J. M. O. (1999). *Miscanthus: a review of European experience with a novel energy crop*. Oak Ridge: Oak Ridge National Laboratory. (No. ORNL/TM-13732)DOI: 10.2172/4538
72. Schrabauer, J. (2010). *Trockentolerante, perennierende Gräserarten für eine Futternutzung bzw. energetische Verwertung im semihumiden und semiariden Produktionsgebiet*. Wien.
73. Skála, Z., & Ochodek, T. (2007). *Energetické parametry biomasy: projekt GAČR 101/04/1278*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
74. Sotáková, S., (1988). *Podznanectvo*. Bratislava: Příroda, 399 s.
75. Součková, H., Moudrý, J., Kalinová, J., Konvalina, P., Celjak, I., Moudrý, J., & Blaho, M. (2006). *Nepotravinářské využití biomasy*. České Budějovice: Jihočeská univerzita V Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta.
76. Šarapatka, B. (2014). *Pedologie a ochrana půdy*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 232 s.

77. Šimon, J., Stražil, Z. (2000). *Perspektivy pěstování plodin pro nepotravinářské účely*, 1. vyd. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 50 s.
78. Šimon, Josef a Zdeněk Stražil. (1999). *Perspektivy pěstování plodin pro nepotravinářské účely: (studijní zpráva)*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, Studijní informace. ISBN 80-7271-047-8.
79. Šnobl, J; Štaud, J; Vašák, J; & Zimolka, J. (2004). *Rostlinná výroba IV. : Chmel, len, konopí, využití biomasy k energetickým účelům*. Praha: Česká zemědělská univerzita.
80. Tejada, M., & Gonzalez, J. L. (2008). Influence of two organic amendments on the soil physical properties, soil losses, sediments and runoff water quality. *Geoderma*, 145(3), 325–334. DOI.org/10.1016/j.geoderma.2008.03.020
81. Tomášek, M. (2000). Soils of the Czech Republic. *Czech geological survey*. Prague. (In Czech).
82. Tomášek, M. (2007). *Půdy České republiky*. Praha: Česká geologická služba. ISBN 978-80-7075-688-1.
83. Ust'ak S. (2006). Rozvoj pěstování a využití biomasy pro energetické a průmyslové účely v ČR: technické a ekonomické aspekty a základní překážky, In: *Energetické a průmyslové rostliny XI*. - Sborník referátů CZ Biom, Chomutov: p. 118-133.
84. Ust'ak, S., Stražil, Z., Váňa, V., Honzík, R. (2012). *Pěstování chrastice rákosovité Phalaris arundinacea L. pro výrobu bioplynu*. Praha, Výzkumný ústav rostlinné výroby, 24 s., ISBN 978-80-7427-101-4.
85. Váchalová, R., Kolář, L., Muchová, Z (2016). *Primární organická půdní hmota a humus, dvě složky půdní organické hmoty*. 1. vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. 122s.
86. Valla, M., Kozák, J., Němeček, J., Matula, S., Borůvka, L., & Drábek, O. (2000). *Pedologické praktikum*. Praha. Česká zemědělská univerzita v Praze Agronomická Fakulta, 33-38.
87. Váňa, J., (2003). Biomasa pro energii a technické využití. *Biom.cz*[online]. 2003-03-25 [cit. 2018-02-19]. Dostupné z <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-energii-a-technicke-vyuziti>
88. Vaněk V., Kolář L., Pavlíková D., (2006). *Úloha organické hmoty v půdě*, Racionální použití hnojiv-sborník z konference. ISBN 978-80-213-2006-2.

89. Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L. K., & Vassileva, C. G. (2010). An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel*, 89(5), 913–933. DOI.org/10.1016/j.fuel.2009.10.022
90. Vašek, Z., (2008).: *Půda je nenahraditelná*. Ekolist/03. Praha, Česká republika. Dostupné z <https://ekolist.cz/cz/publicistika/rozhovory/zdenek-vasku-puda-je-nenahraditelna>
91. Voženílek, L., & Lstibůrek, F. (1989). *Základy elektrotechniky II pro 2. a 3. ročník elektrotechnických učebních a studijních oborů středních odborných učilišť* 2. nezměn. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury.
92. Vrba, V., Huleš, L., Humus-půda - rostlina (2) Humus a půda. *Biom.cz* [online]. 2006-11-14 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>>.
93. Weger, J., Stražil, Z., Honzík, R., Bubeník, J., (2012). *Možnosti pěstování biomasy jako energetického zdroje v Ústeckém kraji*. Průhonice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, 78s. ISBN 978-80-85116-66-3. Dostupné z <http://www.obv.cz/files/publikace01.pdf>
94. Werther, J., Saenger, M., Hartge, E. U., Ogada, T., & Siagi, Z. (2000). Combustion of agricultural residues. *Progress in energy and combustion science*, 26(1), 1–27. DOI.org/10.1016/S0360-1285(99)00005-2
95. Williams, A., Pourkashanian, M., & Jones, J. M. (2001). Combustion of pulverised coal and biomass. *Progress in Energy and Combustion Science*, 27(6), 587–610. DOI.org/10.1016/S0360-1285(01)00004-1
96. Zaujec, A., Chlpík, J., Nádašský, J., Sszombathová, N. & Tobiášová E., (2009). *Pedologia a základy geologie*. Nitra: SPU v Nitre., 399 s.

## 8. Přílohy

Obrázek 2: Výpočet rychlostní konstanty PPOH

1	1. Stanovení faktoru f								
2	Spotřeba Mohra (ml) = a	19,5							
3	Faktor Mohra	1,025641026							
4	b	20							
5									
6	2. Výpočet $C_{OX}$	Spotřeba Mohra (ml)	Skutečná navážka (g)	$C_{OX1, 2, 3, 4}$					
7	1	33,5	0,2	1,15384615					
8	2	31,6	0,2	1,44615385					
9	3	30,4	0,2	1,63076923					
10	3S	41							
11	4	29,6	0,2	1,75384615					
12	4S	41							
13	5 ( $C_1$ ) - veškerá POPH	27,4	0,2	2,09230769					
14	5S	41							
15									
16	3. Příprava pro výpočet k								
17				log					
18	$C_1 - C_{OX1}$	0,938461538		-0,02758352					
19	$C_1 - C_{OX2}$	0,646153846		-0,18966407					
20	$C_1 - C_{OX3}$	0,461538462		-0,3357921					
21	$C_1 - C_{OX4}$	0,338461538		-0,47049068					
22									
23									
24	Konstanta k								
25	Obsah humusu (%)	0,337692308							
26	Stupeň humifikace $S_H$ (%)	13,9	Číslo vzorku	Čas (min)	log	Protnutí	tg $\alpha$	konst. k	
27			1	10	-0,027584	x	-5,99244	0,012631	29,0887
28			2	20	-0,189664	y	0,075693		
29			3	30	-0,335792			Úhel [°]	
30			4	45	-0,470491	Směrnice	-0,01263	0,723691	

$C_{tot} (C_2)$  - Skalár 2,43

Obrázek 3: Grafické znázornění průběhu oxidace PPOH

