

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**

**Zemědělská fakulta**

**Dynamika tvorby výnosů vybraných energetických rostlin**

Bakalářská práce

Studijní program: Zemědělství

Studijní obor: Trvale udržitelné systémy hospodaření v krajině

Katedra: Katedra agroekosystémů

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

Vedoucí práce: Ing. Marek Kopecký

Autor bakalářské práce: Daniel Tibitzl

České Budějovice, 30. 6. 2020

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH**  
Zemědělská fakulta

Akademický rok: 2018/2019

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Daniel TIBITANZL  
Osobní číslo: Z17474  
Studijní program: B4131 Zemědělství  
Studijní obor: Trvale udržitelné systémy hospodaření v krajině  
Téma práce: Dynamika tvorby výnosů vybraných energetických rostlin  
Zadávací katedra: Katedra agroekosystémů

**Zásady pro vypracování**

Cíle práce: Sledování výnosů nadzemní biomasy vybraných energetických rostlin

Práce bude obsahovat následující kapitoly:

1. Úvod – úvod do problematiky (doporučený rozsah 1 strana, bez citací).
2. Literární přehled – energetické využití fytomasy, dynamika růstu rostlin, vliv hnojení na výnosy vybraných druhů rostlin (rozsah cca 50% textové části BP).
3. Cíle práce a pracovní hypotézy (doporučený rozsah 1 strana).
4. Metodický postup – založení a údržba experimentálních políček vybraných energetických rostlin, pravidelný odběr vzorků fytomasy a určení výnosů, sledování LAI pomocí přístroje SunScan.
5. Výsledky a diskuse – zpracování a statistické vyhodnocení získaných výsledků, srovnání získaných dat s literárními údaji formou diskuse (rozsah cca 50% textové části BP).
6. Závěr – shrnutí výsledků práce (doporučený rozsah 1-2 strany, bez citací).
7. Seznam citované literatury (minimálně 1/3 literárních pramenů ze zahraničních zdrojů – vědecké časopisy, knihy).

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

Seznam doporučené literatury:

Barták, M. (2002). Ekologie řízených autotrofních ekosystémů. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze.

Lewandowski, I. (2015). Securing a sustainable biomass supply in a growing bioeconomy. *Global Food Security*, 6, 34-42.

Lewandowski, I., Weger, J., Van Hooijdonk, A., Havlickova, K., Van Dam, J., & Faaij, A. (2006). The potential biomass for energy production in the Czech Republic. *Biomass and Bioenergy*, 30(5), 405-421.

Mao, G., Huang, N., Chen, L., & Wang, H. (2018). Research on biomass energy and environment from the past to the future: A bibliometric analysis. *Science of the Total Environment*, 635, 1081-1090.

Petříková, V. (2015). Pěstování rostlin pro energetické a technické využití: biomasa, bioplyn, krmiva. Praha: Profi Press.

Wagner, M., & Lewandowski, I. (2017). Relevance of environmental impact categories for perennial biomass production. *Gcb Bioenergy*, 9(1), 215-228.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marek Kopecný, Ph.D.**  
Katedra agroekosystémů

Datum zadání bakalářské práce: **14. února 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2020**

V Českých Budějovicích dne 11. března 2019



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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚLŠKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Evidenční číslo 1800, 370 05 České Budějovice

L.S.



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

## PROHLÁŠENÍ

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 Českých Budějovicích dne 30.6.2020

.....  
Daniel Tibitanzl, autor

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Markovi Kopeckému za jeho cenné rady, odborné připomínky, ochotu a veškerý čas, který mi při vypracování bakalářské práce věnoval. Dále bych rád poděkoval kolegům Davidovi Bláhovi, Martinovi Černému a Štěpánovi Koblicovi za jejich pomoc při odběru vzorků trav.

## **Abstrakt**

Cílem bakalářské práce bylo zhodnocení vlivu hnojení na produkci fytohmoty vybraných druhů energetických trav (*Dactylis glomerata*, *Elymus elongatus*, *Festuca arundinacea* Schreb., *Phleum pratense* L.). První částí bakalářské práce bylo vypracování literární rešerše, která se zabývá obnovitelnými zdroji energie se zaměřením na biomasu a pěstováním energetických rostlin. Její součástí je botanická charakteristika vybraných významných travních druhů. K vytvoření literární rešerše bylo využito odborné literatury řady autorů. Praktický výzkum probíhal na pozemcích Zemědělské fakulty Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Výzkum byl zaměřen na pozorování výnosu trav, které byly pěstovány za účelem spalování (jedna, seč ročně). Výzkum ukázal, že největšího výnosu dosáhla rostlina *Dactylis glomerata* a také, že hnojení rostlin mělo pozitivní vliv na jejich výnosnost.

Klíčová slova: biomasa, energetické trávy, výnos

## **Abstract**

The aim of the study was to determine the total content of organic carbon in the soils planted by selected energy plants (*Dactylis glomerata*, *Elymus elongatus* subsp. *Ponticus*, *Festuca arundinacea*, *Phleum pratense*). The plant cultures were established on 16. 4. 2019 at the experimental field of the Faculty of agriculture, University of South Bohemia, České Budějovice. The organic carbon content was monitored regularly depending on the depth of sampling and fertilization of variants. The first sampling was carried out before the plant culture establishment. Further samples were taken every 2 months. All of the samples were taken from the depth of 0-10 cm and 10-20 cm by paedological probing rod. Subsequently, the samples were adjusted for the analysis and examined with the SKALÁR instrument in the laboratory at the Department of Agroecosystems. During the measurement, a sharp increase of organic carbon in the sample taken in the spring of 2020 was observed. A higher content of organic carbon was observed in the samples taken from the depth of 0-10 cm, though, statistically not significant. It was further found, that fertilization influences the total content of organic carbon. The fertilized variants showed higher values than unfertilized. The highest amount of total organic carbon was recorded at

the *Phleum pretense* variant. However, the differences between the plants were not statistically significant.

Key words: biomass, energy grass, yield

1.	Úvod.....	10
2.	Literární rešerše.....	11
2.1	Energetika.....	11
2.1.1	Energetická bezpečnost a poptávka po energiích.....	11
2.2	Obnovitelné zdroje energie.....	12
2.3	Fytoenergetika a její vývoj.....	13
2.3.1	Biomasa a její zdroje .....	13
2.3.2	Energetické využití biomasy .....	13
2.3.2.1	Spalování .....	14
2.3.2.2	Výroba bioplynu .....	14
2.3.3	Pěstování energetických rostlin v ČR.....	15
2.3.4	Dělení energetických rostlin.....	15
2.3.4.1	Rychle rostoucí dřeviny.....	15
2.3.4.2	Energetické trávy .....	16
2.3.5	Charakteristika vybraných druhů energetických trav .....	18
2.3.5.1	Chrastice rákosovitá ( <i>Phalaris arundinacea</i> L.) ...	18
2.3.5.2	Sveřep bezbranný ( <i>Bromus inermis</i> L.).....	19
2.3.5.3	Ovsík vyvýšený ( <i>Arrhenatherum elatius</i> L.).....	19
2.3.5.4	Srha laločnatá, říznačka ( <i>Dactylis glomerata</i> ) .....	20
2.3.5.5	Szarvasi-1 ( <i>Elymus elongatus</i> ) .....	21
2.3.5.6	Kostráva rákosovitá ( <i>Festuca arundinacea</i> Schreb.)	22
2.3.5.7	Bojínek luční ( <i>Phleum pratense</i> L.) .....	22
2.3.5.8	Ozdobnice čínská ( <i>Miscanthus Sinensis</i> ) .....	23
3.	Cíl práce .....	25
3.1	Dílčí cíle: .....	25
3.2	Hypotézy: .....	25
4.	Materiál a metodika.....	26



4.1	Lokalita.....	26
4.2	Založení a údržba porostů .....	28
4.3	Odběr vzorků.....	29
4.4	Statistické zpracování dat.....	29
5.	Výsledky a diskuze .....	30
5.1	Statistické vyhodnocení.....	30
5.1.1	Vliv jednotlivých druhů na výnos sušiny (jednocestná ANOVA) . .....	30
5.1.2	Vliv varianty na výnos (jednocestná ANOVA).....	31
5.1.3	Vliv interakce travního druhu a data odběru na výnos (vícecestná ANOVA) .....	31
5.1.4	Vliv interakce travního druhu varianty hnojení a data odběru na výnos (vícecestná ANOVA).....	32
5.2	Celkové shrnutí výsledků a diskuse .....	34
5.2.1	Výnosy sledovaných druhů .....	35
5.2.1.1	<i>Dactylis glomerata</i> .....	35
5.2.1.2	Szarvasi-1 .....	36
5.2.1.3	<i>Festuca arundinacea</i> .....	37
5.2.1.4	<i>Phleum pratense</i> .....	38
5.3	Procentuální obsah sušiny a vody.....	40
6.	Závěr .....	42
7.	Seznam použité literatury.....	43
8.	Přílohy.....	50

# 1. Úvod

V současné době dochází na naší planetě k velké spotřebě energie a spolu s ní se tenčí zásoby fosilních paliv. Společnost je z tohoto důvodu nucena hledat způsoby, jak efektivně získat energii z obnovitelných zdrojů. Jednou z variant může být pěstování energetických rostlin.

V minulosti byly travní porosty využívány především jako krmivo pro hospodářská zvířata. V dnešní době se již fytomasa travních porostů využívá rovněž v energetice. Tyto travní porosty mají velmi dobře rozvinutý kořenový systém, díky kterému jsou schopny chránit půdu před případnou erozí. Mají také pozitivní vliv na kvalitu vody či podporu biodiverzity.

Biomasa z travních porostů se v energetickém odvětví využívá především pro spalování či výrobu bioplynu. Mezi cíleně pěstované trávy pro energetické využití patří například *Dactylis glomerata* L. (srha laločnatá) či *Phalaris arundinacea* L. (chrastice rákosovitá). Při správné kultivaci tyto druhy trav poskytují vysoké výnosy biomasy, a to v řádu několika let.

## **2. Literární rešerše**

### **2.1 Energetika**

Energetiku můžeme vnímat, jako podstatnou část každého hospodářství. Změny v tomto odvětví mívají velký vliv na další lidské činnosti. Například zvýšení ceny ropy se promítne na růstu cen u potravin. V současné době je cena energetických zdrojů velmi proměnlivá, a to s sebou nese velké riziko pro výrobce, obchodníky i spotřebitele. Ve většině rozvojových zemí to má obrovský negativní dopad na potravinovou bezpečnost. Mnoho států je dnes závislých na dovozu energií z jiných zemí. Mnohdy se jedná o země, které jsou politicky nestálé. Nicméně řada předních politiků projevila zájem o co největší samostatnost a rozmanitost dodávek, která má za úkol zaopatřit energetickou bezpečnost státu (Jeníček a kol., 2010).

#### **2.1.1 Energetická bezpečnost a poptávka po energiích**

V minulosti bylo značnou oporou energetiky palivové dřevo, které bylo považováno za jednu z významných strategických surovin. Jako velmi významný zdroj energie dodnes slouží především v zemích, které disponují nízkou spotřebou energie. Asi 90% obyvatelstva Afriky žijící jižně od pouště Sahary je zcela závislých na palivu ze dřeva a jiné biomasy. Z výše uvedeného vyplývá, že spotřeba energie na Zemi je rozložena nerovnoměrně. Velký nárůst spotřeby energie je připisován rychle rostoucímu obyvatelstvu a stále zvětšujícímu se blahobytu. Několik světových velmocí, jako jsou Čína, Rusko, USA, Japonsko či Německo spotřebují většinu veškeré světové energie (Quaschnig, 2010).

Byť zájem po energiích se neustále mění, tak rivalita o vstup k energetickým zdrojům, jakožto zásadnímu předpokladu hospodářského růstu, je permanentně přítomna (Binhack a kol., 2011). Jednotlivé státy proto řeší tzv. energetickou bezpečnost. Mezinárodní energetická agentura energetickou bezpečnost stručně vystihuje jakožto vstup k dostatečnému množství energie za přiměřenou cenu vůči životnímu prostředí. (Binhack a kol., 2011).

V České republice je energetická bezpečnost řešena formou energetického mixu. To znamená, že v jedné činnosti je zde poměrně velké zastoupení energetických zdrojů. Hlavním úkolem tohoto systému je omezit závislost na jednom druhu

energetické suroviny a tím zvětšit soběstačnost ČR v evropské zóně (Binhack a kol., 2006).

## 2.2 Obnovitelné zdroje energie

V současnosti jsou v mnoha zemích velmi významným zdrojem energie fosilní paliva, případně jaderná energie. Z mnoha důvodů jsou ale postupně nahrazovány obnovitelnými zdroji energie (OZE). Barták a kol. (2003) uvádějí, že OZE jsou ve skutečnosti jediným řešením pro lidstvo, jak nejefektivněji vyřešit současný problém energetiky na světě.

Za obnovitelné zdroje energie jsou považovány takové zdroje využitelných forem energií, které jsou nevyčerpatelné, popřípadě ty, které se za krátký čas přírodními procesy renovují. Mezi tyto zdroje energie se zpravidla řadí geotermální energie, energie vody, větrná energie, slunečná energie, energie vzduchu, energie půdy a energie biomasy (Krejcar, 2007).

Podle Jakubese a kol. (2006) je také možné OZE rozdělit do tří základních kategorií podle základní energie, na které jsou založeny. Tyto zdroje využívají otáčivou a gravitační energii Země, tepelnou energii zemského jádra nebo energii dopadajícího slunečního záření.

Za jednu z výhod u obnovitelných zdrojů energie můžeme považovat jejich rovnoměrné rozložení. Z ekonomického hlediska je lze vnímat jako domácí zdroje, které mohou být alternativou k fosilním palivům (Aitken, 2003). Škodlivé emise, které dnes vznikají v elektrárnách, se daří čím dál tím více minimalizovat, z toho důvodu je kladen velký důraz na snižování emisí CO<sub>2</sub>, což má za následek vznik skleníkového efektu. OZE mají tu výhodu, že nezatěžují životní prostředí emisemi a jsou nevyčerpatelné (Srdečný a kol., 2000). Využívání OZE úzce souvisí s tvorbou nových pracovních míst a také průmyslových odvětvích (Aitken, 2003). OZE v České republice mají čím dál tím větší uplatnění, protože velkou částí se podílejí na zajištění celkové energetické potřeby společnosti (Frydrych a kol., 2006).

Netradiční zdroje energie neznečišťují a nezatěžují životní prostředí. V dnešní době, je jim věnována velká pozornost od celé řady různých techniků, energetiků a ekonomů (Beranovský a kol., 2001). Celosvětovým problémem je nerovnoměrná

spotřeba energie. Ve vyspělých zemích 20 % lidí spotřebuje celkem 80% světové výroby energie. Více než polovina lidí nemá elektřinu, mají pouze dřevo na topení (Libra, Poulek, 2007).

## 2.3 Fytoenergetika a její vývoj

### 2.3.1 Biomasa a její zdroje

Biomasu můžeme charakterizovat, jako veškerou organickou hmotu na Zemi, jež úzce souvisí s koloběhem živin v biosféře (Pastorek a kol., 2004). Mezi biomasu, která je cíleně získávána pro využití v energetice, patří především biomasa rostlinná – fytomasa. Základní část buněčné stěny fytomasy je tvořena z celulózy, hemicelulózy a ligninu. Určité druhy fytomasy jsou přímo závislé na určitém poměru množství, jež zahrnuje tyto 3 složky (Williams, 2002). Pro lignocelulózní biomasu jsou typické rychle rostoucí trávy a dřeviny. Jsou to především takové druhy, které mají využití pouze energetické a není možné je upotřebit v potravinářství – například vrba (*Salix spp*), ozdobnice (*Miscanthus spp*), proso prutnaté (*Panicum vigatum*), topol (*Populus spp*), chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacca*). Tyto typy jsou známé především díky vysokému výnosu biomasy (Abbasi, 2009).

### 2.3.2 Energetické využití biomasy

Biomasa a její způsob využití je závislý především na fyzikálních a chemických vlastnostech dané biomasy. Významnou část tvoří sušina a její obsah. Surovina, která má obsah sušiny vyšší než 50 %, je surovina, která se dobře hodí k suchému procesu získávání energie. K tzv. mokrému procesu získávání energie je zpravidla využívána biomasa s obsahem sušiny nižším než 50 % (Fuksa, 2009). V našich podmínkách je velmi využíván anaerobní kvašení a přímé spalování. energii z biomasy je však možné získávat i dalšími způsoby:

A) Suché procesy – termochemická přeměna biomasy (pyrolýza, spalování, zplyňování)

B) Chemická přeměna biomasy – esterifikace

C) Mokré procesy – biochemická přeměna biomasy (metanové a alkoholové kvašení)

D) Získávání odpadního tepla (čištění odpadních vod, kompostování)

### 2.3.2.1 Spalování

Spalování je termochemická reakce, kde teploty mohou dosahovat až 660 °C. To dále vede k rozložení organické látky na zápalné plyny a jejich následnou oxidací nastává uvolnění energie, vody a oxidu uhličitého. Biomasa je charakteristická, oproti fosilním palivům, velmi malým množstvím síry. Tvoření oxidů dusíku lze řídit teplotou spalování (Weger a Havlíčková, 2003). Výhřevnost spalované biomasy je závislá na vlhkosti. Pro efektivní a ekologické spalování je důležité, aby vlhkost byla co nejmenší. Správná vlhkost biomasy činí 20 % její hmotnosti, nejideálněji se jeví 15 % hmotnosti (Kovářová a kol., 2002).

Biomasu dnes můžeme využít jako OZE ve formě spalování v bioelektrárnách, ale hlavní zastoupení má stále v malých teplárnách. Teplo má dvojí využití: jakožto ohřev vody a vytápění budov. Kotle a kamna, které mají různé velikosti a výkony, slouží ke spalování. Kotel může dosahovat výkonů až 3000 MW. Konstrukce je navržena tak, aby docházelo ke správnému spalování fytomasy. Neustále se pracuje na vylepšení technické stránky spalování biomasy. Palivo je nutné uspořádat do určitých normalizovaných tvarů. Např: balíky, které mají tvar válce, balíky kvádrové, dále pelety či brikety (Šnobl a kol., 2004).

U nás jsou pro spalování vhodné trávy jednoleté, jako jsou lesknice kanárská nebo proso seté. Více výhodnými pro spalování, se ale zdají být trávy víceleté a vytrvalé. Především jde o tyto trávy: sveřep bezbranný, sveřep horský, ovsík vyvýšený, kostřava rákosovitá, psineček veliký, ozdobnice čínská a chrastice rákosovitá. Eventuelně bychom mohli jmenovat ještě další trávy, např: psárka luční, třtina křovištní, rákos obecný, bojínek luční, psárka luční a další (Fuksa, 2009). Stébelnaté plodiny mají výhřevnost okolo 18 MJ na kilogram sušiny (Šnobl a kol., 2004).

### 2.3.2.2 Výroba bioplynu

Anaerobní fermentace organických látek je proces, kde působí metanogenní a hydrogenotrofní mikroorganismy, díky jejich působení dochází ke vzniku bioplynu, který je složen ze dvou hlavních složek, tedy metanu a oxidu uhličitého. Vývoj procesu je ovlivněn celou skupinou parametrů, např: teplota prostředí, podíl vody, složení, pH materiálu (Kára a kol., 2007).

### 2.3.3 Pěstování energetických rostlin v ČR

Ve střední Evropě zemědělská půda zabírá více než polovinu území. Během posledních let nedošlo u půdy k jejímu rozšiřování, ba naopak byla razantním způsobem omezena vlivem prostorových požadavků současného obyvatelstva (Reichholf, 1999).

Havlíčková (2007) tvrdí, že energetické rostliny a biomasa v ČR, byly v nedávné minulosti hojně užívané, a to v době 1. a 2. světové války. Šlo především o výrobu biopaliv, dřevěného uhlí a dřevoplynu. Ke zvýšení nárůstu pěstování energetických rostlin v ČR došlo díky začátku pěstování řepky olejky (*Brassica napus* L. var. *napus*). V osmdesátých letech byl v bývalém Československu zaznamenán rychlý a úplný přechod na pěstování řepky ozimé (Fábry a kol., 1992).

### 2.3.4 Dělení energetických rostlin

Energetické rostliny můžeme rozdělit do dvou skupin. Rozlišujeme energetické rostliny, které jsou cíleně pěstované, a rostliny, které jsou pěstované pro jiné účely, ale jejich zbytky jsou nadále využívány jako zdroj energie. Rostliny, jež jsou pěstovány cíleně, lze dále dělit na rychle rostoucí dřeviny a energetické byliny. Dle botanického zařazení se energetické byliny rozdělují na obiloviny, trávy a skupinu dvouděložných rostlin, které jsou specifické svým vysokým výnosem (Havlíčková et al., 2007).

#### 2.3.4.1 Rychle rostoucí dřeviny

Rychle rostoucí dřeviny (RRD) se vyznačují velmi vysokou hodnotou výnosu nadzemní části biomasy, a to v krátkém časovém horizontu 3-6 let a životností 20-35 let. Růst, a především objemová produkce těchto dřevin v prvních letech nebo po opakovaném seříznutí, značně přerůstá průměrné hodnoty jiných dřevin. Mezi dvě nejdůležitější rychle rostoucí rostliny řadíme vrbu a topol. Už v dávné minulosti jsme zaznamenali velký výskyt mohutných ploch vrbových a topolových lesů u toků evropských řek (Havlíčková, 2007). V Evropě se na začátku nového tisíciletí pěstovalo, dle Kohouta a kol. (2010), 30 000 ha topolových a vrbových plantáží. Rychle rostoucí dřeviny jsou velmi proměnlivé. Za velmi důležité parametry při využití RRD jsou považovány spalné teplo a výhřevnost (Cejlak a Boháč, 2008).

Kohout a kol. (2010) uvádějí, že nejčastěji pěstované druhy topolů pro energetické využití jsou:

- Topol Maximovičův (*Populus maximoviczii Henry*) - jde o asijský druh, který byl do Evropy přivezen poprvé v 19. století.
- Topol chlupatoplodý (*Populus trichocarpa Torr. & A. Gray*) - pochází ze Severní Ameriky. Strom, jehož dřevo je rozsáhle využíváno, dorůstá výšky až 60 metrů.
- Topol korejský (*Populus koreana Rehd.*) - jedná se o druh z Asie, který se v Evropě objevil poprvé ve 30 letech minulého století. Daří se mu na bohatých a těžkých půdách, kde není hladina podzemní vody.
- Topol černý (*Populus nigra L.*) – je to euroasiská dřevina, která roste na velkých plochách. V ČR se ji nejčastěji daří na chudých půdách a štěrčích.

Oproti topolům, se vrby vyskytují na každém světadílu. Nejvíce typickým podnebným pásem pro vrby je severní chladný mírný podnebný pás. V České republice je dosud registrováno asi 26 druhů vrb (Kohout a kol., 2010).

#### 2.3.4.2 Energetické trávy

V dnešní době, je čím dál tím více významnější využívání energie z biomasy rostlin (Frydrych a kol., 2006). Energetické trávy jsou vnímány jako náhrada za ladem ležící zemědělské půdy, které byly v minulosti hojně využívány. Plocha těchto půd se neustále zvyšuje a s ní nabývá na produktivitě i zemědělská výroba (Gerndtová, 2006). Andert a kol. (2006) tvrdí, že tyto plochy je možné využít k pěstování energetických plodin, z důvodu snižujícího se počtu skotu, a to dále vede ke zvýšení nárůstu trav, které se dále energeticky využívají.

V ČR se produkce fytomasy travin a rákosů pohybovala na začátku tisíciletí okolo 800 000 tun/rok (Moudrý a kol., 2006). Od roku 1989 se neustále zvyšuje plocha trvalých travních porostů (TTP), která je dnes odhadována na 1,1 mil. ha. Mimo jiné se v růstu daří i loukám, kterých je zhruba 60 000 ha. Při extenzivním hospodaření těchto ploch se energetické využití týká zhruba 400 000 ha, kde je výnos 3 t suché hmoty z 1 ha. Za předpokladu kvalitní údržby, mohou výnosy dosahovat až 8 t/ha i více, a to se může pozitivně promítnout v ekonomice, např. u porostů srhy říznačky (Sladký, 1995).



Energetické trávy se sklízí pomocí žacích strojů, které se nijak významně neliší od strojů pro sklizeň krmiv. Jedná se především o rotační žací stroje. Pro sklizeň jsou využívány také sběrací vozy. Pokud jde o sklizeň energetických trav, tak se od těch krmných významně odlišují. Jejich odlišnost je v agrotechnických lhůtách a v nárocích na biologicko-chemický obsah (Sladký, 1995).

Při kultivaci trav, je zapotřebí dbát na to, aby trávy, které jsou šlechtěné pro energetické využití, se nepěstovaly v místech, kde hrozí větší výskyt viróz. Jde zejména o to, aby nedošlo k nárůstu šíření těchto chorob. Velkou předností energetických travin je jejich vytrvalost a nenáročnost. Je možné je pěstovat i na místech s velkým výskytem vodní a větrné eroze. Při ošetření těchto trav, by se nemělo používat nářadí, které způsobí utlačení půdy a tím i horší propustnost vody (Havlíčková a kol., 2008).

Běžně je fytomasa používána jako krmivo pro polygastry, a to v zeleném stavu nebo je uchovávána jako objemná píce (Niemelainen a kol., 2001). Pokud jde o energetické využití, můžeme aplikovat odpadní fytomasu z úhorů, popřípadě z vegetace cíleně pěstovaných trav, které je možno kultivovat jako travní směs či monokulturu (Frydrych a kol., 2001). Podle Strašila a kol. (2011) jsou v ČR pro energetické účely nejvíce využívány tyto druhy trav:

- Srha laločnatá (*Dactylis glomerata L.*)
- Chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea L.*)
- Ovsík vyvýšený (*Arrhenatherum elatius L.*)
- Sveřep bezbranný (*Bromus inermis L.*)
- Kostřava rákosovitá (*Festuca arundinacea Schreb.*).

Energetické trávy jsou významné především díky svému rychlému růstu, daří se jim i při nižších teplotách. Jsou to trávy velmi vytrvalé a dobře přezimují. Vyrůstají brzy na jaře a odumírají pozdě na podzim s návratem živin do zbylé části přežívající rostliny. Energetické trávy disponují vysokou odolností proti chorobám a jsou konkurenceschopné. Mezi jejich výhody patří nízká spotřeba vody a jsou velmi dobře rezistentní vůči suchu (Havlíčková a kol., 2008).

Trávy rozdělujeme na jednoleté nebo vytrvalé rostliny, které se řadí do čeledi lipnicovité. Tyto trávy disponují širokou ekologickou amplitudou a je možné je pěstovat v různorodých klimatických podmínkách. Navzdory tomu u jednotlivých

druhů trav můžeme zaznamenat patřičné rozdíly, co se týče z hlediska agroekologického. Z více důvodů jsou upřednostňovány vytrvalé rostliny. Travní fytomasu je možno z hlediska energetického využívat buďto pro přímé spalování nebo na výrobu elektřiny a tepla (Frydrych a kol. 2001; Kára a kol., 2004; Stražil, 2008) eventuálně pro výrobu bioplynu (Geber, 2002).

Pokud jde o energetické využití na spalování, tak je nejlepší volbou travní monokultura. Výnosový potenciál u trav, které jsou pěstovány jako monokultura, je 8 - 9krát vyšší než u spontánních úhorů (Frydrych a kol., 2001).

### **2.3.5 Charakteristika vybraných druhů energetických trav**

#### **2.3.5.1 Chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea* L.)**

Chrastice rákosovitá je rozprostřena takřka po celé Evropě, Asii a v Severní Americe. Je velmi náročná na vláhu a živiny (Havlíčková a kol., 2007). Jedná se o velmi mohutný a vytrvalý druh, který dorůstá do výšky dvou metrů (Velich a kol., 1994). Disponuje velmi mohutným kořenovým systémem, který zajišťuje rostlině zásobu vody a přísun živin.

Stébla jsou uzavřena jednostrannou latou, infertilní odnože jsou hustě olistěné. Listy má dlouhé a široké. Vytváří dlouhé a silné podzemní oddenky, jenž se úzce rozkládají pod povrchem půdy (Šantrůček a kol., 2001). Optimální podmínky pro chrastici rákosovitou jsou těžší půdy, které jsou bohaté na živiny. Na těchto místech se může porost udržet až několik let (Šnobl a kol., 2004).

Nejčastěji je využívána pro výrobu buničiny (obsah celulózy činí 30–36 %, ligninu okolo 14 %). Vyšších výnosů dosahuje zejména během vyššího srážkového úhrnu, a to na půdách, kde je hranice spodní vody 30–40 cm. Ve svém vývoji je značně pomalejší než ostatní trávy. Průměrný roční výnos se pohybuje v rozpětí 4,5 až 9,0 t·ha<sup>-1</sup> (Šantrůček a kol., 2007). Za předpokladu správného hnojení může výnos u chrastice rákosovité dosahovat až přes 10 t/ha (Římovský, Hrabě, Vítek, 1989).

#### **Hnojení**

V literatuře se uvádí, že chrastice je značně náročná na živiny. Ve Švédsku uvádějí průměrné dávky živin během pěstování chrastice sklízené na jaře 80 kg/ha<sup>-1</sup> N, 30 kg/ha<sup>-1</sup> K a 10 kg/ha<sup>-1</sup> P. Naproti tomu ve Finsku bylo použito v polních pokusech během prvního roku 40-70 kg/ha<sup>-1</sup> N a později 70-100 kg/ha<sup>-1</sup> N (Havlíčková

a kol., 2007). Podle Šantrůčka a kol. (2007) jsou dostačující na úrodných půdách každoroční dávky N 50 až 80 kg/ha<sup>-1</sup>.

### **2.3.5.2 Sveřep bezbranný (*Bromus inermis* L.)**

Je považován za jeden z nejrozšířenějších druhů vysokých trav. Vyniká svou odolností vůči drsnému podnebí, zejména proti mrazům, ale i horku. Velmi dobře roste na provzdušněných kyprých půdách s dostatkem přístupných živin. Opakem jsou mezofilní louky, kde se sveřep nevyskytuje. *Bromus inermis* L. je velmi citlivý na zastínění a šeslpávání. Mimo jiné se využívá i pro energetické účely, především pro produkci fytomasy. (Šantrůček a kol., 2007).

U nás se nejčastěji setkáváme s odrůdami sveřepu Tribun a Tabron.

Tribun vyséváme v monokultuře, protože ostatní typy snadno potlačuje. Nemá rád pastvu. Jeho nároky na stanoviště jsou totožné s odrůdou Tacit, což je příbuzný druh sveřepu amerického.

Tabron velmi dobře dokáže využívat dodávaný dusík. Výnosy sušiny činí ve třech až čtyřech sečích 10-15 t·ha<sup>-1</sup>. Nejvyšších výnosů bylo dosaženo ve druhém až pátém roce. Nejvíce mu prospívají nezamokřené a provzdušněné lehčí půdy (Míka a kol., 1999).

Sveřep má vyšší nároky na obsah přijatelného Ca v půdě. Je schopný produkovat výnosy sušiny vyšší než 10 t·ha<sup>-1</sup>, jeho výnosy jsou konkurenceschopné s výnosy našich nejvýnosnějších trav. Při správném hnojení a obhospodařování porostů, je schopný vydržet 5 a více let (Míka a Řehořek, 2003).

### **2.3.5.3 Ovsík vyvýšený (*Arrhenatherum elatius* L.)**

Hojně využíván v energetice. Jeho použití začíná na začátku července, tedy po výmlatu semen. Suchá sláma je slisována a nadále spalována v bio kotli. Jeho biomasa se nejlépe využívá v suchém stavu, a to především ke spalování, v podobě různých balíků, briket nebo pelet. (Petříková a kol., 2006)

Ovsík vyvýšený je víceletá, vysoce vzrůstná tráva, dorůstající výšky až 150 cm. Disponuje plodonosnými stébly, které dorůstají výšky 120-150 cm. Stéblo má hrubé, poléhavé se středním olistněním. Listy jsou široké, dlouhé a velmi řídké ochmýřené (Ochodek a kol., 2006). Zejména díky mohutnému kořenovému systému,

je schopný čerpat vodu z opravdu hlubokých půdních vrstev. Je velmi náchylný na sněžnou plíseň a holomrazy. Z tohoto důvodu není příliš vhodný do nepříznivých klimatických podmínek (Šantrůček a kol., 2001).

Plného vývoje dosahuje ve druhém roce od jeho zasetí, s maximálním růstem ve 2.- 4. roce vegetace. Maximální výnos podává v 1.- 3. užitkovém roce, naopak v 5. užitkovém roce jsou jeho výnosy jedny z nejmenších. *Arrhenatherum elatius L.* je schopný tvořit velké porosty, které disponují velkou konkurenční silou proti plevelům (Petříková a kol., 2006). Petřík a kol. (1987) stejně jako Frydrych a kol. (2001) tvrdí, že výnos sušiny biomasy v 1. užitkovém roce (1. seč) činí 4,31 t·ha<sup>-1</sup> a ve 2. užitkovém roce (1. seč) 8,77 t·ha<sup>-1</sup>.

### **Hnojení**

Minimální dávka N pro tento druh trávy se pohybuje kolem 50 kg N/ha/rok. Optimální dávka dusíku je v rozmezí 100-160 kg N/ha/rok. Na podzim se hnojí převážně fosforem, kdy je dávka 30-50 kg/ha, dále draslíkem v dávce 60 kg/ha, eventuálně i dusíkem v dávce 50 kg/ha. Toto hnojení přispívá k růstu a tvorbě plodných odnoží a stébel (Havlíčková a kol., 2008)

#### **2.3.5.4 Srha laločnatá, říznačka (*Dactylis glomerata*)**

Petříková a kol. (2006) uvádějí srhu laločnatou, jako víceletou, vytrvalou travu, která není příliš náročná na živiny. Vyznačuje se výbornou stabilní produkcí v širší škále ekologických podmínek. Je trsnatou travou, ozimého charakteru, patřící do čeledi lipnicovitých (*Poaceae*) (Šantrůček a kol., 2001).

Od 18. století je tato plodina řazena mezi kulturní trávy (Regal, 1953). Vyskytuje se takřka na celém našem území, nejlépe se jí daří v mírném podnebném pásu, především v oblasti Euroasie a Jižní Ameriky (Havlíčková a kol., 2008). Nejvhodnější jsou půdy humózní a písčitohlinité s hodnotou pH 6. Naopak jako nejméně vhodné se jeví půdy těžké a extrémně lehké. Nejnižší výnosy podává na lehkých a vysychavých půdách (Vrzal a Novák, 1995).

### **Hnojení**

Nejvyšší výnosy u srhy pozorujeme ve 2.-3. roce vegetace. Při správném použití agrotechniky, je porost schopný vydržet 6-10 let. Kritický je 5 rok, kdy klesají její výnosy a vitalita. U srhy je za hlavní výnosový faktor považován dusík. Nejmenší

dávka výnosu dusíku je 40-50 kg dusíku/ha/rok. Optimální dávky dusíku, se pohybuje v rozmezí 100-140 kg dusíku/ha/rok. Srha umožňuje stálé výnosy i za předpokladu, že nedojde k jejímu hnojení. Tímto se výrazně liší od jiných druhů trav (Havlíčková a kol., 2008). Petřík a kol. (1987) stejně jako Šantrůček a kol. (2007) uvádějí, že při hnojení 100 kg. ha<sup>-1</sup> a trojsečném využití výnosy srhy dosahovaly 13,2 t·ha<sup>-1</sup>.

Její uplatnění není pouze v pícninářství, ale je velmi vhodná i pro energetické účely. Poulík (1996) uvádí, že porosty srhy se využívají pro výrobu bioplynu nebo pro přímé spalování. Takové porosty se sklízí na začátku metání (2–3 seče). Její stébla jsou často využívána pro výrobu buničiny (Havlíčková a kol., 2008).

#### **2.3.5.5 Szarvasi-1 (*Elymus elongatus*)**

Patří mezi energetické rostliny, jejíž porosty jsou proslulé jako kukuřičné alternativy, a to z důvodu vyššího obsahu bílkovin a sušiny (Rudolpt, 2013). *Elymus elongatus* pochází z východního Maďarska, přesněji z města Szarvas. (Jonák, 2012). Patří do čeledi lipnicovitých (*Poaceae*) (Csete a kol., 2011). Je označována za vytrvalou travu, dorůstající výšky až 3 m. Má silné hlubokořenné kořeny, které pronikají do hloubky až 3,5m (Csete a kol., 2011). Listy jsou zelené a tuhé, s vyšším obsahem soli. Stonek je šedozelené barvy, rovný a hladký, sahající do výšky 180-260 cm (Welsh, 2003).

Je relativně náročná na půdu a klimatické podmínky. Nejčastěji se pěstuje v místech, kde je roční úhrn srážek 300–350 mm. Lze ji pěstovat i na nepodmáčených půdách, a nevádí jí ani vyšší nadmořská výška. Řadí se mezi nejméně náročné kulturní trávy (USDA, 2008). *Elymus elongatus* byla vypěstována jako specifická tráva, která je dobře odolná vůči suchu. Její biomasa je vhodná pro výrobu energie (Csete a kol., 2011; Martyniak a kol., 2017). Csete a kol. (2011) tvrdí, že méně kyselé půdy neovlivňují produkci biomasy, naopak půdy s hodnotou pH pod 5,5 jsou velmi nepříznivé pro celkový výnos.

Její životnost se odhaduje na 10 až 15 let. Je velmi vhodná pro energetické využití, nikoli pro potravinářské. Dobře snáší velké rozdíly teplot, které v létě šplhají k hodnotám až 35 °C, naopak v zimním období je to pod hranici -35 °C (Csete a kol., 2011).

Szarvasi-1 se využívá především pro přímé spalování. Je velmi vhodnou trávou pro tyto účely, protože má velmi nízkou hodnotu dusíku a síry, kterou při spalování

produkuje (Mezogazdasagi, 2008). Dále se uplatňuje pro výrobu plynu pyrolýzou za přítomnosti enzymů, nicméně zde hrozí hrozba vzniku poměrně vysokých emisí NO<sub>x</sub> a SO<sub>x</sub> (Blunk, 2005).

Plného výnosu dosahuje ve druhém roce. Největším nárůst hmoty u Szarvasi-1 byl zaznamenán brzy na jaře a na podzim (Schrabauer, 2010). Jonák (2012) uvádí, že výnosy dosahují hodnot až 20 t·ha<sup>-1</sup>. Hodnota výhřevnosti materiálu se pohybuje od 14 do 17 MJ/kg, to je srovnatelné s hodnotami rychle rostoucích dřevin či hnědého uhlí (Bikazugi mezogazdasági nonprofit KFT, 2004).

#### **2.3.5.6 Kostřava rákosovitá (*Festuca arundinacea* Schreb.)**

Kostřava rákosovitá je vzrůstem vyšší, trsnatá tráva, s krátkými podzemní výběžky. Je to vytrvalá rostlina, která vyrůstá do výšky až 2 m. Kořenový systém je mohutně rozvinutý a dobře hlubokořenný, díky kterému má rostlina stálý příjem živin a vláhy (Veselá a kol., 2007). Vyniká svou odolností vůči půdním a klimatickým podmínkám, je snášenlivá vůči suchu a zamokření půdy. Nejčastěji se vyskytuje v nížinách a podhůřích. Ideální jsou místa s vyšší hladinou podzemní vody, vlhké louky i zasolené půdy s vyšší hodnotou pH.

Běžný výnos kostřavy rákosovité při třech sečích dosahuje hodnoty 8,42 t·ha<sup>-1</sup> (Fiala a kol., 1994). Frydrych a kol. (2001) uvádějí, že kostřava rákosovitá v našich podmínkách dosahuje v prvním užitkovém roce výnosu 5,29 t·ha<sup>-1</sup>, a v roce druhém dokonce výnosu 10,11 t·ha<sup>-1</sup>. V zahraničí se průměrný hektarový výnos u *Festuca arundinacea* Schreb. pohybuje okolo 11,4 až 13,1 t·ha<sup>-1</sup> (Wellie-Stephan 1998). Niemelainen a kol. (2001) uvádějí, že ve Finsku poskytuje kostřava rákosovitá v průměru o 12 % vyšší výnosy sušiny fytomasy než kostřava luční.

Je vhodná pro energetické účely, její sklizeň se provádí za plné zralosti, obvykle v červenci (Petříková a kol., 2006). Porosty, které jsou pěstovány pro energetické využití, se upravují na brikety a pelety a následně se používají jako topivo v kotlích nebo kamnech (Stražil a kol., 2011).

#### **2.3.5.7 Bojínek luční (*Phleum pratense* L.)**

Víceletá dobře rostoucí tráva, která v příznivých podmínkách dorůstá výšky 1 m. Vyznačuje se velmi rozvinutým kořenovým systémem, jehož kořenová hmota sahá do hloubky 100 mm (Velich, 1994). Na kyprých půdách, jsou kořeny bojínku lučního

mělce rozmístěny (Regal, 1972). Stébla jsou velmi silná, listy jsou jemné, 5-10 mm široké a 300 mm dlouhé. Jazyček u *Phleum pratense* L. je velmi dobře vyvinutý, má obloukovitý tvar a po stranách drobné růžky. Ouška u bojínku chybí. Květenství tvoří lichoklas o délce až 200 mm (Velich, 1994).

Velmi dobře odolává nepříznivým klimatickým podmínkám, snáší sníh i holomrazy. Bojínku lučnímu se daří i ve vyšších polohách, kde je vyšší vlhkost. V minulosti byl úspěšně testován za polárním kruhem, a to ještě více poukazuje na jeho odolné vlastnosti (Klesnil, 1980).

Velich (1994) uvádí, že velmi vhodné jsou pro růst střední a těžké půdy, kde je větší četnost srážek. Vzácně se vyskytuje i na mezooligotrofních půdách, ale úplné životaschopnosti se mu dostává na místech s ročním zdrojem dusíku nad 100 kg/ha (Klesnil, 1980). Svými výnosy se řadí mezi nejproduktivnější trávy. Jakost píce je vázaná na fenofázi, ve které se sklízí (Petřík 1987). Využívá se do jetelotravních směsí a travních porostů (Velich, 1994).

#### **2.3.5.8 Ozdobnice čínská (*Miscanthus Sinensis*)**

Ozdobnice čínská je vytrvalá tráva, poměrně vysokého vzrůstu. Při kvalitním šlechtění je schopna dosahovat výnosů sušiny přes 30 t·ha<sup>-1</sup>. Je rostlinou typu C4, která je schopna velmi dobře využívat sluneční energii, vodu a živiny. Vyznačuje se tolerancí proti různým chorobám a škůdcům. Tuto travu řadíme do čeledi lipnicovité, třída jednoděložné (Moudrý a Stražil, 1998).

Nejlépe se jí vede na lehčích půdách s vyšším počtem srážek. Vhodné jsou i půdy písčité, kde je vyšší hladina spodní vody (Petříková a kol., 2006). Stražil (2009), uvádí, že nejméně vhodné jsou pro *Miscanthus Sinensis* půdy mělké a jílovité. Nedaří se jí především v období léta, kdy převládají zejména velká sucha. Její optimální půdní reakce je v intervalu pH 5,5 - 6,5. Při hodnotě pH 7 byly u ozdobnice čínské sledovány poklesy výnosu (Petříková a kol., 2006).

Stražil (2009), tvrdí, že ozdobnici čínskou je ideální zasazovat po plodinách, jako jsou čirok, řepka či kukuřice. Petříková (2006), uvádí jako vhodné předplodiny luskoviny, obilniny a okopaniny. Nejvhodnější období pro sázení ozdobnice čínské je od poloviny května do poloviny července, kdy teplota půdy přesahuje 10 °C. Porost u

této traviny se zakládá nejméně na 10 až 20 let. Schwarz a kol. (1994) tvrdí, že rostlina umožňuje sklizeň jednou ročně, a to po dobu až 15 let po založení porostu.

### **Hnojení**

Ozdobnice čínská je rostlina, která není příliš náročná na dusík v porovnání např. s ostatními jednoletými rostlinami. Vyniká mohutným a vyvinutým kořenovým systémem, který zmenšuje nebezpečí vyplavování nitrátů (Himken a kol., 1997). Na půdách, které jsou kvalitně obhospodařované, se ozdobnice prvním rokem nemusí vůbec hnojit. Naopak u půd s nízkou zásobou živin je doporučena dávka přihnojení do 50 kg. ha<sup>-1</sup> N kvůli vymrzání (Moudrý a Stražil, 1999). Havlíčková a kol. (2007) uvádí, že základní doporučená dávka pro druhý rok a příští léta se pohybuje okolo 70 kg. ha<sup>-1</sup> K, 40 kg. ha<sup>-1</sup> P a 50-100 kg. ha<sup>-1</sup> N. Hnojení probíhá od jara až do poloviny července. Petříková a kol., (2006), uvádějí, že v Rakousku bylo provedeno úspěšné hnojení kejdou skotu v dávce 30 m<sup>3</sup> /ha.

Pro ozdobnici čínskou je velmi vhodný nezaplevelený pozemek s kvalitní předplodinou. Během podzimu je vhodné učinit podmínku, společně s hlubokou orbou. Dále je doporučeno provést přípravu set'ového lůžka a prokypření půdy do hloubky až 10 cm. Díky svému porostu je vhodná k energetickému využití, zakládá se sadbou při výsadbě minimálně 10–20 tisíc ks/ha. V prvním roce výsadby je náchylná na vymrznutí, z toho důvodu se porost na zimu přikrývá vrstvou slámy (Stražil, 2009).

Co se týče ochrany rostlin proti plevelům, je možné používat chemické ochranné prostředky. V prvním roce je nejčastěji používáno mechanické hubení plevelů (Moudrý a Stražil, 1999). Je důležité, aby ochranné prostředky byly použity v době výsadby a před zapojením porostu.

V prvním roce se sklizeň neprovádí, ke sklizni dochází až ve druhém roce, kdy výnos sušiny činí 10 t·ha<sup>-1</sup>. Ve třetím roce výnos sušiny dosahuje hodnot až 20–25 t·ha<sup>-1</sup>. Při intenzivním hospodaření se mohou výnosy sušiny vyšplhat až na 30 t/ha (Moudrý a Stražil, 1998). Sklizeň se provádí v období od listopadu do března, za pomoci samohodných řezaček (Petříková a kol., 2006).



### **3. Cíl práce**

Cílem této bakalářské práce je zhodnotit výnosový potenciál vybraných druhů energetických trav a vliv hnojení na produkci fytomasy.

#### **3.1 Dílčí cíle:**

1. Odběr vzorků porostů energetických trav v pravidelných intervalech.
2. Stanovit výnos suché hmoty u jednotlivých plodin a vyhodnotit výsledky sušiny.
3. Zhodnotit výnosový potenciál u všech vybraných druhů energetických trav a vyhodnotit, která z nich dosahuje největších výnosů.

#### **3.2 Hypotézy:**

1. Minerální hnojení se pozitivně projeví ve vyšším výnosu fytomasy.
2. Nejvyšší výnos sušiny u těchto energetických trav je v podzimním termínu (v odborné literatuře jsou často zmiňovány ztráty fytomasy přes zimní období).

## 4. Materiál a metodika

### 4.1 Lokalita

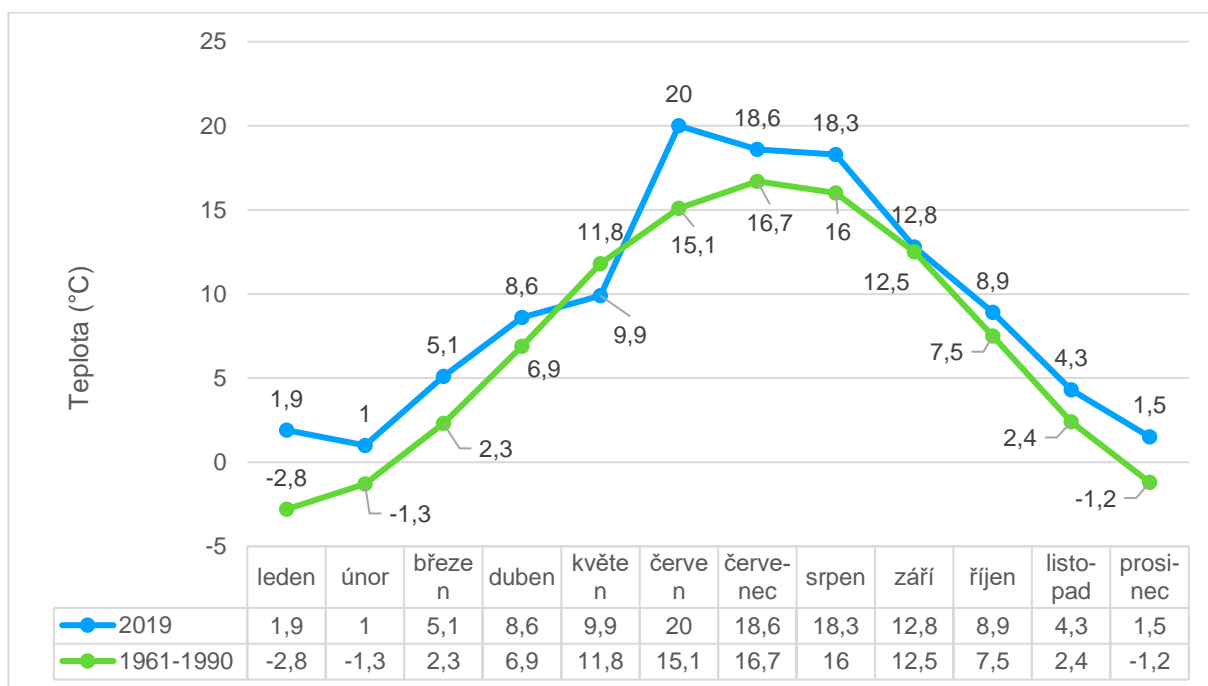
Podrobné zkoumání vybraných energetických trav probíhalo pouze na území Českých Budějovic, konkrétně na pozemku Jihočeské univerzity. Celkem bylo na pozemku Jihočeské univerzity vyseto osm menších parcelek od každého sledovaného druhu. Nyní činí rozloha jednotlivých parcelek 5 m<sup>2</sup> (3,33 x 1,5 m). Celkové rozložení a označení testovacích parcelek nám znázorňuje Obr. č.1. Parcelky leží v mírném klimatickém regionu, kde je průměrná teplota okolo 7-8 °C. Na pozemku převládají středně hluboké půdy, které nejsou příliš produktivní. Kvalita výnosnosti půdy v ČR je na stupnici od 6 do 100 na hodnotě 42 (VÚMOP, 2020).

Obr. 1: Plán parcelek

1	2	3	4	5	6	7	8
Boj C	Kost C	Srha C	Sz-1 C	Boj M	Kost M	Srha M	Sz-1 M
Kost C	Srha C	Sz-1 C	Boj M	Kost M	Srha M	Sz-1 M	Boj C
Srha C	Sz-1 C	Boj M	Kost M	Srha M	Sz-1 M	Boj C	Kost C
Sz-1 C	Boj M	Kost M	Srha M	Sz-1 M	Boj C	Kost C	Srha C

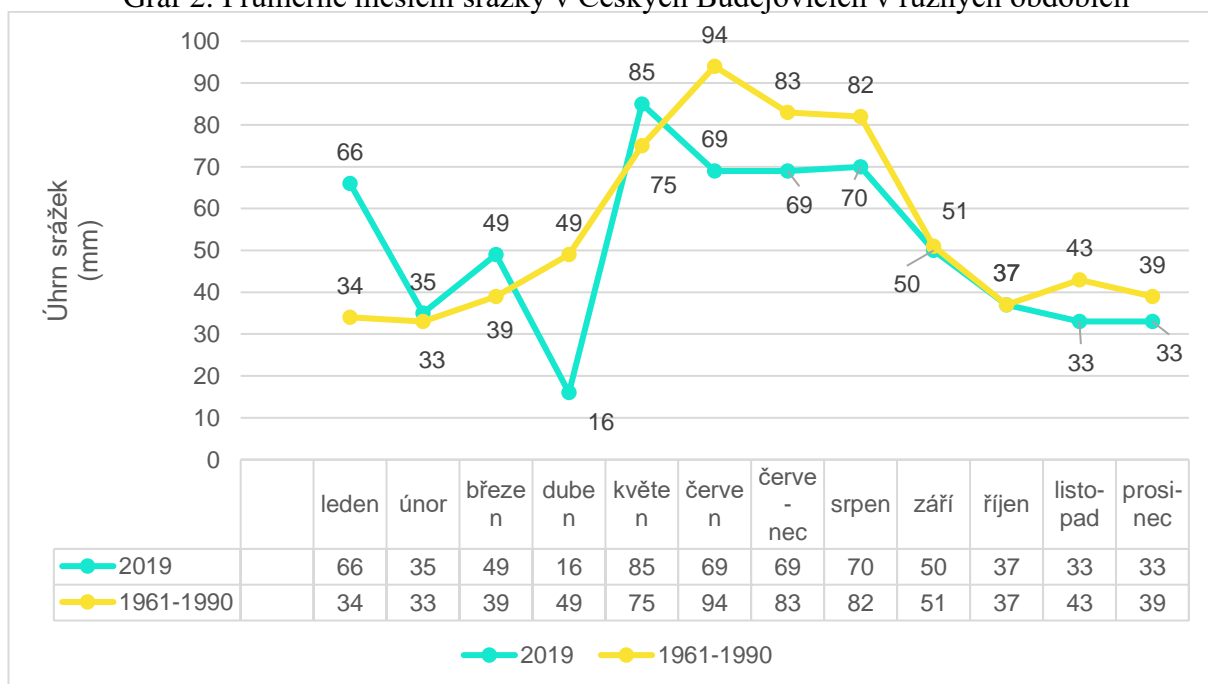
Teploty v roce 2019 byly velmi příznivé pro růst a vývoj vybraných druhů energetických rostlin. Byly v průměru o 2,8 °C vyšší, než je dlouhodobý průměr od roku 1961-1990 (viz Graf 1). Srážky za v roce 2019 nebyly příliš hojné. Nejvyšší počet srážek byl zaznamenán v květnu, kdy hodnoty dosahovaly 85 mm (viz Graf 2).

Graf 1: Průměrné měsíční teploty v Českých Budějovicích v různých obdobích



(zdroj: ČHMÚ)

Graf 2: Průměrné měsíční srážky v Českých Budějovicích v různých obdobích



(zdroj: ČHMÚ)

## 4.2 Založení a údržba porostů

Byly založeny maloparcelkové pokusy s těmito travami: bojínek luční, kostřava rákosovitá, Szarvasi-1, srha laločnatá. Založení parcelek se uskutečnilo 16. 4. 2019 v Českých Budějovicích, na pozemcích Jihočeské univerzity. Fotky z přípravy pozemku a založení porostu jsou na Obr. 2 a 3. O dva měsíce později 17. 6. 2019 následovala odplevelovací seč. Proti nadměrnému zaplevelení byl použit dne 2. 7. 2019 i herbicid Starane 250 EC (60 ml + 10 l vody).

Parcelky, které jsou na Obr. 1 označeny písmenem C (Control) hnojeny nebyly. Parcelky s označením M (Mineral) hnojeny byly dle stanovené metodiky. Hnojiva byla poprvé aplikována po postřiku herbicidu v dávce 200 kg LAV/ha (54 kg N/ha). Další aplikace proběhla na začátku vegetace v březnu 2020. Byla použita tato hnojiva: 400 kg LAV/ha (108 kg N/ha), 150 kg 3SF/ha (30 kg P/ha) a 200 kg DS/ha (100 kg K/ha).

Obr. 2: Příprava půdy



Obr. 3: Osivo



### **4.3 Odběr vzorků**

Vzorky jednotlivých trav byly odebrány ve třech termínech – v závislosti na stavu porostu a prováděných agrotechnických operacích (odplevelovací seč.). Od prvního roku využití (jaro 2020) se počítá s odběrem v pravidelných měsíčních intervalech. Z každé parcely byl vždy odebrán porost z plochy 1 m<sup>2</sup>. Vzorky byly zváženy v čerstvém stavu ihned po sklizni. Poté byly sušeny do konstantní hmotnosti a opět zváženy. Poté mohl být pro každou variantu vypočten průměrný výnos sušiny. Odběry byly prováděny ručně za pomoci srpu.

### **4.4 Statistické zpracování dat**

Pokud to charakter získaných výsledků umožňoval, byla data statisticky vyhodnocena v programu STATISTICA 12 (StatSoft Inc.). Pro zpracování byla zvolena parametrická metoda ANOVA s hladinou významnosti  $p=0,05$ . Výsledky, které nebylo možné relevantně zpracovat zmíněnou metodou, nejsou v podkapitole Statistické vyhodnocení zahrnuty. V případě homogenity dat (Cochranův test) byl využit také post-hoc HSD Tukeyho test (honestly significant difference) pro porovnání výsledných hodnot.

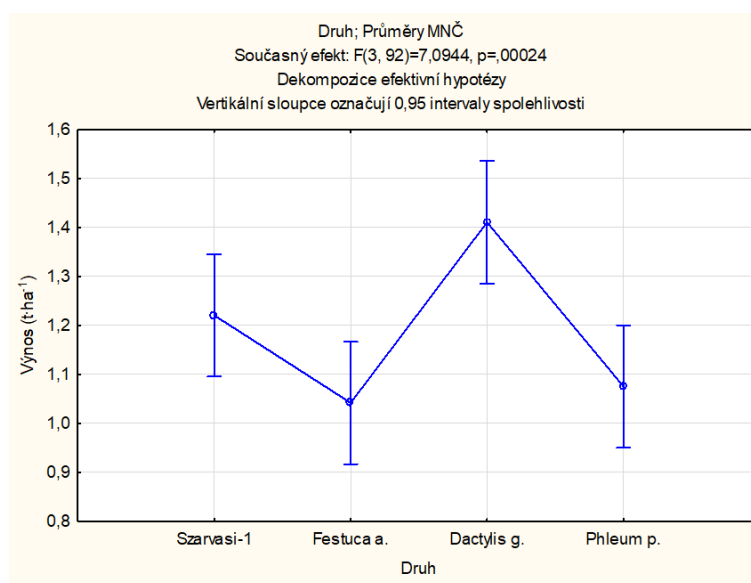
## 5. Výsledky a diskuze

### 5.1 Statistické vyhodnocení

#### 5.1.1 Vliv jednotlivých druhů na výnos sušiny (jednocestná ANOVA)

Ze statistického vyhodnocení výsledků vyplynulo, že nejvýnosnějším druhem byl *Dactylis glomerata*, jak je patrné z Grafu 1.

Graf 1: Vliv druhu na výnos sušiny



Z Tabulky 1 je zřejmé, že druhy *Festuca arundinacea* a *Phleum pratense* jsou statisticky méně výnosné než *Dactylis glomerata*. Szarvasi-1 není statisticky odlišná od žádného ze sledovaných druhů.

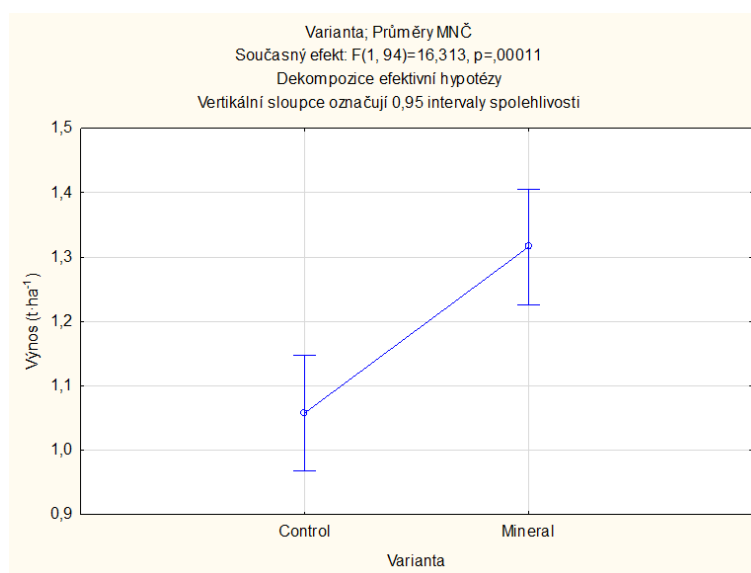
Tabulka 1: Tukeyův HSD test vlivu druhu na výnos sušiny

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná Výnos (t·ha <sup>-1</sup> ) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. PČ = ,09546, sv = 92,000			
	Druh	Výnos (t·ha <sup>-1</sup> ) Průměr	1	2
2	Festuca a.	1,041658	****	
4	Phleum p.	1,075179	****	
1	Szarvasi-1	1,220388	****	****
3	Dactylis g.	1,410400		****

### 5.1.2 Vliv varianty na výnos (jednocestná ANOVA)

V souladu s Hypotézou č. 1 se projevil vliv intenzity hnojení na celkové výnosnosti porostů. Statisticky významný rozdíl byl zřejmý již v relativně krátkém sledovaném období (Graf 2).

Graf 2: Vliv hnojení na výnos sušiny



Tabulka 2 znázorňuje přesné hodnoty výnosů v závislosti na hnojení. Ačkoli byl rozdíl mezi variantami menší než 0,3 t·ha<sup>-1</sup>, byl již statisticky významný.

Tabulka 2: Tukeyův HSD test vlivu hnojení na výnos sušiny

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná Výnos (t·ha <sup>-1</sup> ) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. PČ = ,09803, sv = 94,000			
	Varianta	Výnos (t·ha <sup>-1</sup> ) Průměr	1	2
1	Control	1,06	****	
2	Mineral	1,32		****

### 5.1.3 Vliv interakce travního druhu a data odběru na výnos (vícecestná ANOVA)

Při zkoumání současného vlivu dvou faktorů, jimiž byly druh a datum odběru ( $F_{(6, 84)}=3,6217, p=,00304$ ), bylo zjištěno, že lze data vyhodnotit pomocí HSD Tukey testu. Výsledky znázorňuje Tabulka 3.

Tabulka 3: Tukeyův HSD test vlivu interakce travního druhu a data odběru na výnos sušiny

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná Výnos ( $t \cdot ha^{-1}$ ) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. $P\check{C} = ,08301$ , $sv = 84,000$					
	Druh	Datum odběru	Výnos ( $t \cdot ha^{-1}$ ) Průměr	1	2	3
11	Phleum p.	8. 2019	0,89	****		
5	Festuca a.	8. 2019	0,91	****		
4	Festuca a.	10. 2019	1,08	****	****	
1	Szarvasi-1	10. 2019	1,09	****	****	
6	Festuca a.	3. 2020	1,14	****	****	
9	Dactylis g.	3. 2020	1,15	****	****	
12	Phleum p.	3. 2020	1,16	****	****	****
10	Phleum p.	10. 2019	1,17	****	****	****
3	Szarvasi-1	3. 2020	1,28	****	****	****
2	Szarvasi-1	8. 2019	1,29	****	****	****
7	Dactylis g.	10. 2019	1,45		****	****
8	Dactylis g.	8. 2019	1,64			****

#### 5.1.4 Vliv interakce travního druhu varianty hnojení a data odběru na výnos (vícecestná ANOVA)

HSD Tukey test mohl být proveden také u interakce všech faktorů ( $F_{(6, 72)} = 3,0471$ ,  $p = ,01032$ ). Souhrnné výsledky uvádí Tabulka 4.

Tabulka 4: Tukeyův HSD test vlivu všech sledovaných faktorů na výnos sušiny

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná Výnos ( $t \cdot ha^{-1}$ ) Homogenní skupiny, alfa = ,05000 Chyba: meziskup. $P\check{C} = ,05646$ , $sv = 72,000$								
	Druh	Varianta	Datum odběru	Výnos ( $t \cdot ha^{-1}$ ) Průměr	1	2	3	4	5
7	Festuca a.	Control	10. 2019	0,81	****				
8	Festuca a.	Control	8. 2019	0,84	****				
9	Festuca a.	Control	3. 2020	0,87	****	****			
20	Phleum p.	Control	8. 2019	0,87	****	****			
23	Phleum p.	Mineral	8. 2019	0,91	****	****	****		
4	Szarvasi-1	Mineral	10. 2019	0,93	****	****	****		
11	Festuca a.	Mineral	8. 2019	0,98	****	****	****		
21	Phleum p.	Control	3. 2020	0,99	****	****	****		
19	Phleum p.	Control	10. 2019	1,01	****	****	****	****	
2	Szarvasi-1	Control	8. 2019	1,06	****	****	****	****	
15	Dactylis g.	Control	3. 2020	1,09	****	****	****	****	
3	Szarvasi-1	Control	3. 2020	1,17	****	****	****	****	****
18	Dactylis g.	Mineral	3. 2020	1,20	****	****	****	****	****



1	Szarvasi-1	Control	10. 2019	1,25	****	****	****	****	****
13	Dactylis g.	Control	10. 2019	1,25	****	****	****	****	****
22	Phleum p.	Mineral	10. 2019	1,34	****	****	****	****	****
24	Phleum p.	Mineral	3. 2020	1,34	****	****	****	****	****
10	Festuca a.	Mineral	10. 2019	1,35	****	****	****	****	****
6	Szarvasi-1	Mineral	3. 2020	1,39	****	****	****	****	****
12	Festuca a.	Mineral	3. 2020	1,41	****	****	****	****	****
14	Dactylis g.	Control	8. 2019	1,48		****	****	****	****
5	Szarvasi-1	Mineral	8. 2019	1,52			****	****	****
16	Dactylis g.	Mineral	10. 2019	1,64				****	****
17	Dactylis g.	Mineral	8. 2019	1,79					****

## 5.2 Celkové shrnutí výsledků a diskuse

Po odebrání všech vzorků mohly být porovnány jednotlivá data odběrů z hlediska množství sklizené suché hmoty (Tabulka 5). Výnosy v jednotlivých datech odběrů byly velmi podobné, rozdíly mezi nimi nebyly statisticky průkazné.

Tabulka 5: Výnosy trav v jednotlivých odběrech

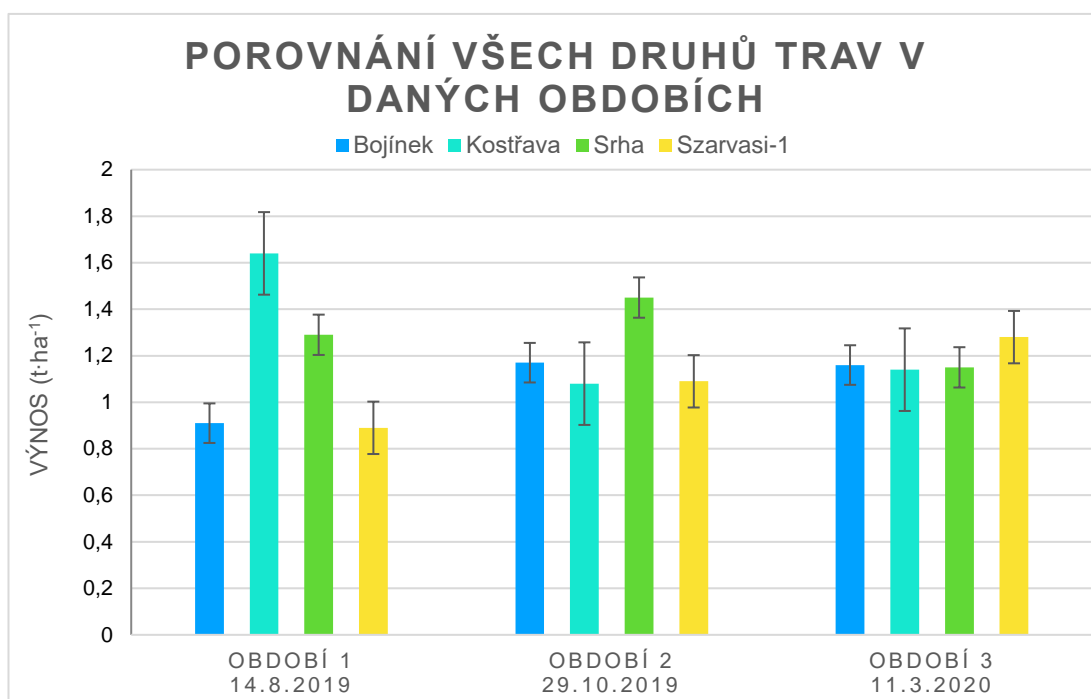
Č. buňky	Datum odběru; Průměry MNČ, Současný efekt: $F(2,89) = 0,03019$ , $p = 0,97027$ Dekompozice efektivní hypotézy					
	Datum odběru	Výnos ( $t \cdot ha^{-1}$ ) Průměr	Výnos ( $t \cdot ha^{-1}$ ) Sm.Ch.	Výnos ( $t \cdot ha^{-1}$ ) -95,00 %	Výnos ( $t \cdot ha^{-1}$ ) +95,00 %	N
1	14. 8. 2019	1,182275	0,050203	1,082522	1,282028	32
2	29. 10. 2019	1,196969	0,050203	1,097216	1,296721	32
3	11. 3. 2020	1,181475	0,050203	1,081722	1,281228	32

Pokusy provedené na vybraných druzích trav ukazují, že výnosy nedosahují tak vysokých hodnot v porovnání s údaji z odborné literatury. Příčinou nízkých výnosů mohou být relativně neúrodné půdy nebo z hlediska zemědělství nepříznivé počasí v průběhu roku 2019 (viz. Metodika). Nejpodstatnějším aspektem, který ovlivnil celkovou výši výnosů, bylo ale pravděpodobně stáří porostů. Jednalo se totiž o rok založení, kdy porosty zpravidla nedosahují vysokých výnosů.

Z Grafu 4 je zřejmé, že nejvyššího výnosu sušiny u sledovaných energetických trav bylo dosaženo v podzimním termínu (29. 10. 2019), kdy průměrný výnos sušiny u trav činil  $1,20 t \cdot ha^{-1}$ , což je v souladu s hypotézou č. 2. Podle ní je předpoklad nejvyššího výnosu sušiny u těchto energetických trav je v podzimním termínu.

Z grafu je zřejmé, že nejrychleji se zapojil porost kostřavy rákosovité a srhy říznačky. U kostřavy však výnos fytomasy ve druhém odběru klesl. Může to být způsobeno například nepřesným odběrem vzorků nebo větším zaplevelením porostu v době prvního odběru (plevelná fytomasa zvyšovala celkový výnos). V posledním termínu odběru byl již výnos všech sledovaných druhů srovnatelný.

Graf 4: Porovnání průměrných hodnot výnosů sušiny u vybraných druhů trav ( $\pm$ SE)



Podle Havlíčkové a kol. (2008) jsou ztráty např. u srhy říznačky po přemrznutí na rozhraní 40 %. Ztráty u srhy výrazně ovlivňují faktory, jako jsou nadmořská výška či charakter sněhové pokrývky. I přes to, že vyšší výnosy trav byly zaznamenány v podzimním termínu, tak v porovnání s výnosy na jaře nejsou příliš odlišné. Vyšší výnos sušiny na jaře přiřazujeme velmi malým ztrátám porostu během zimy, a zvláště použití prstové sekačky během jarní sklizně, se kterou je možné sít porost těsně nad zemí. Tím byl potvrzen fakt od řady autorů, že jarní sklizeň travní hmoty je mnohem náročnější a složitější z důvodu ulehnutí porostu.

## 5.2.1 Výnosy sledovaných druhů

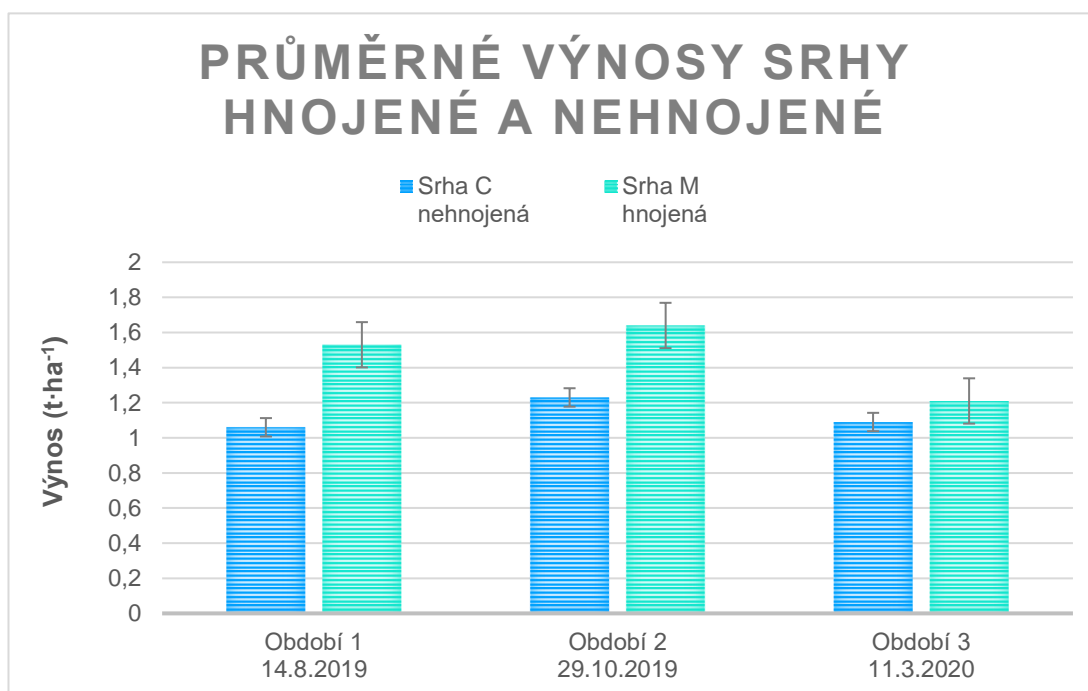
### 5.2.1.1 *Dactylis glomerata*

Velich a kol. (1994) uvádějí, že srha patří mezi nejvýnosnější trávy, které mají širokou škálu uplatnění v různých podmínkách. Petřík a kol. (1987) stejně jako Šantrůček a kol. (2007) uvádí, že při hnojení N 100 kg·ha<sup>-1</sup> ve víceletých odrůdových pokusech, při trojsečném využití, dosahovaly výnosy u srhy 13,2 t·ha<sup>-1</sup>. Ale takto velkých výnosových hodnot, námi testována srha říznačka nedosahovala. Nejvyšší výnos u srhy byl zaznamenán na podzim, kdy výnosy přesahovaly 1,4 t·ha<sup>-1</sup>. Jeden z

důvodů, proč výnosy byly tak nízké přiřazujeme k tomu, že výzkum mnou testovaných energetických trav probíhal pouze v roce založení.

Graf porovnává výnosové hodnoty u srhy říznačky hnojené a nehnojené varianty. Ve všech třech termínech sklizně poskytovala srha hnojená (M) vyšší výnosy než srha nehnojená (C). Havlíčková a kol. (2008) tvrdí, že ideální pH pro srhu je 5,5. Na pozemcích zemědělské fakulty je hodnota pH přibližně 6,4, z toho vyplývá, že výnos u srhy mohl být ovlivněn i tímto faktorem.

Graf 5: Porovnání průměrných hodnot srhy říznačky hnojené a nehnojené ( $\pm$ SE)



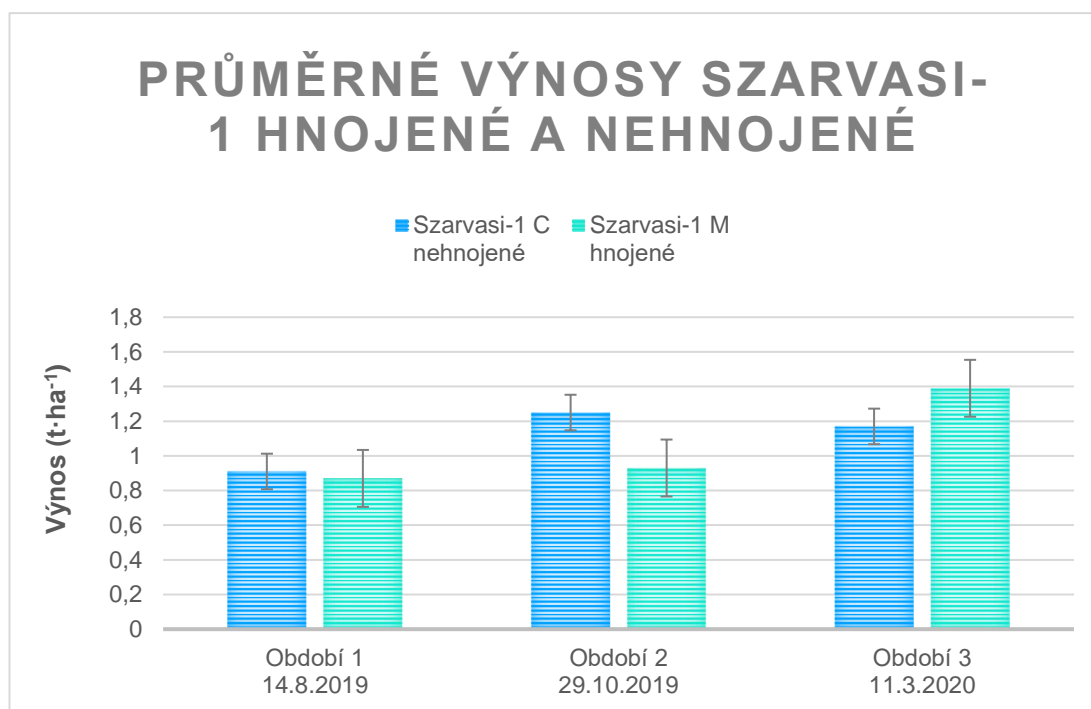
Srha plného výnosu dosahuje ve 2-3. roce vegetace. Při dostatku živin a vláhy, je schopna v porostu vydržet 6-10 let, avšak po pátém roce růstu se snižuje její výnosnost (Vrzal a Novák, 1995). Havlíčková a kol. (2008) uvádějí, srhu jako travu velmi vhodnou pro energetické využití, zejména pro přímé spalování. Je schopna produkovat vysoké výnosy z jedné seče v jarních termínech.

### 5.2.1.2 Szarvasi-1

Podle odborné literatury se Szarvasi-1 řadí mezi nejlépe výnosné energetické trávy. Mast a kol. (2014) uvádějí, že výnosy u Szarvasi-1 se pohybují v rozmezí 8,9–13,4 t·ha<sup>-1</sup>. Jonák (2012) tvrdí, že výnosy Szarvasi-1 atakují hodnoty 20 t·ha<sup>-1</sup>. Nicméně, takto vysokých výnosových hodnot u *Elymus elongatus* jsme na pozemcích

zemědělské fakulty nedosáhli. Výnos sušiny se pohyboval kolem  $1,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (viz Graf 6). Při intenzivním hnojení jsme u Szarvasi-1 dosáhli výnosu  $1,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Csete a kol. (2011) odhadují životnost u Szarvasi-1 na 10-15 let, ale díky častým změnám v produkci biomasy zatím neexistují výsledky, které by to mohly dokázat.

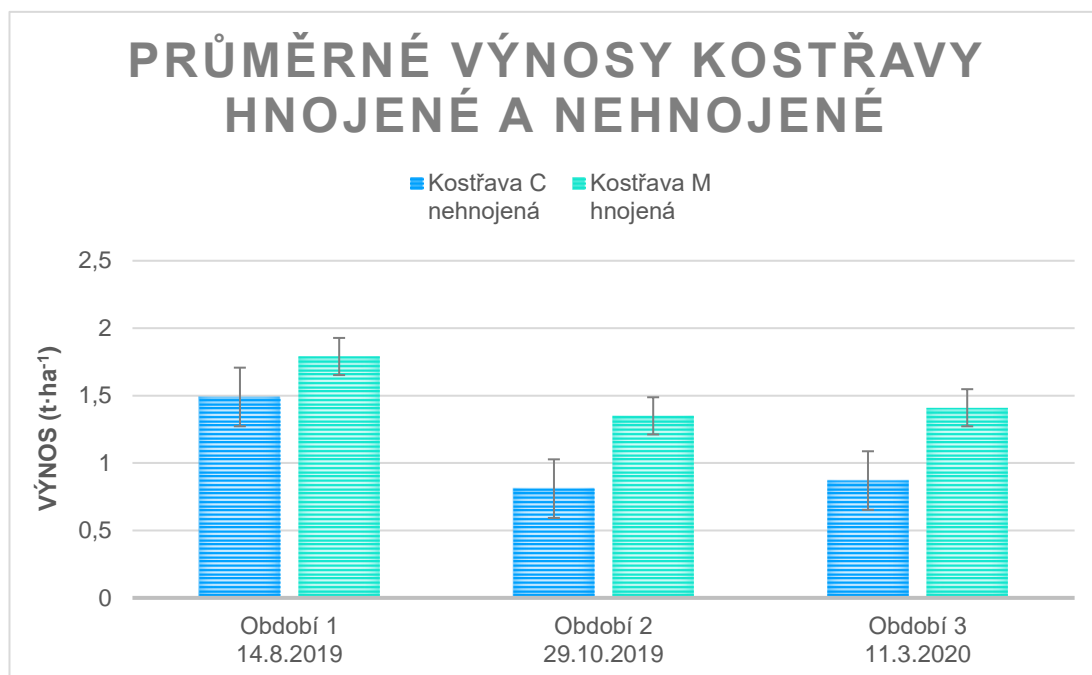
Graf 6: Porovnání průměrných hodnot výnosů sušiny Szarvasi-1 hnojené a nehnojené ( $\pm\text{SE}$ )



### 5.2.1.3 *Festuca arundinacea*

Ve srovnání se všemi čtyřmi vybranými druhy trav, byla kostřava rákosovitá, co se týče výnosu jednou z nejméně úspěšných. Z Grafu 7 je zřejmé, že kostřava hnojená (M) byla ve všech třech obdobích výnosově úspěšnější než kostřav nehnojená (C). Kostřava je velmi náročná na živiny a na dostatek živin v půdě oproti ostatním travám (Veselá a kol., 2007). Fiala a kol. (1994) uvádějí, že obvyklé výnosy kostřavy rákosovité při třech sečích dosahují hodnot  $8,42 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Naproti tomu Frydrych a kol. (2001) tvrdí, že *Festuca arundinacea* Schreber. je schopna v našich podmínkách dosahovat v prvním užitkovém roce výnosu  $5,29 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , a v roce druhém dokonce výnosu  $10,11 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Wellie-Stephan (1998) uvádí, že v jiných zemích se výnosy kostřavy pohybují okolo  $11,4$  až  $13,1 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

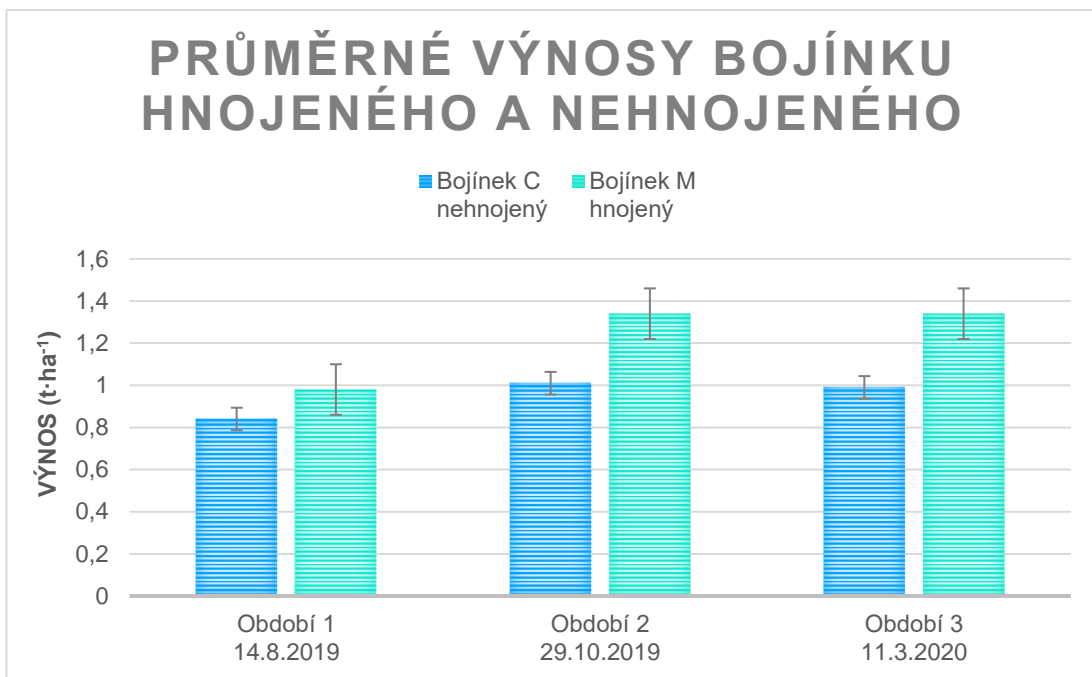
Graf č. 7 Porovnání průměrných hodnot výnosů sušiny kostřavy rákosovité hnojené a nehnojené



#### 5.2.1.4 *Phleum pratense*

Bojínek luční dosáhl nejvyššího výnosu sušiny ve druhém období sklizně (29. 10. 2019), kdy jeho výnos činil necelých 1,2 t·ha<sup>-1</sup>. (viz Graf 8). Regal (1972) uvádí, že bojínek luční je nejvíce produkční v prvních 3-4 letech, jeho výnosy se pohybují v rozmezí 8-9 t·ha<sup>-1</sup>. Velich (1994) uvádí, že při správném hnojení, je bojínek luční schopen poskytovat výnosy až 12 t·ha<sup>-1</sup>. My jsme při opakovaném hnojení dosáhli výnosu pouze přes 1,34 t·ha<sup>-1</sup>, a to i přes to, že během roku 2019 panovaly příznivé teplotní podmínky pro správný růst a vývoj rostlin. Limitujícím faktorem ovšem bylo pravděpodobně množství a rozložení srážek.

Graf 8: Porovnání průměrné hodnoty výnosů sušiny Bojíčku lučního hnojeného a nehnojeného ( $\pm$ SE)

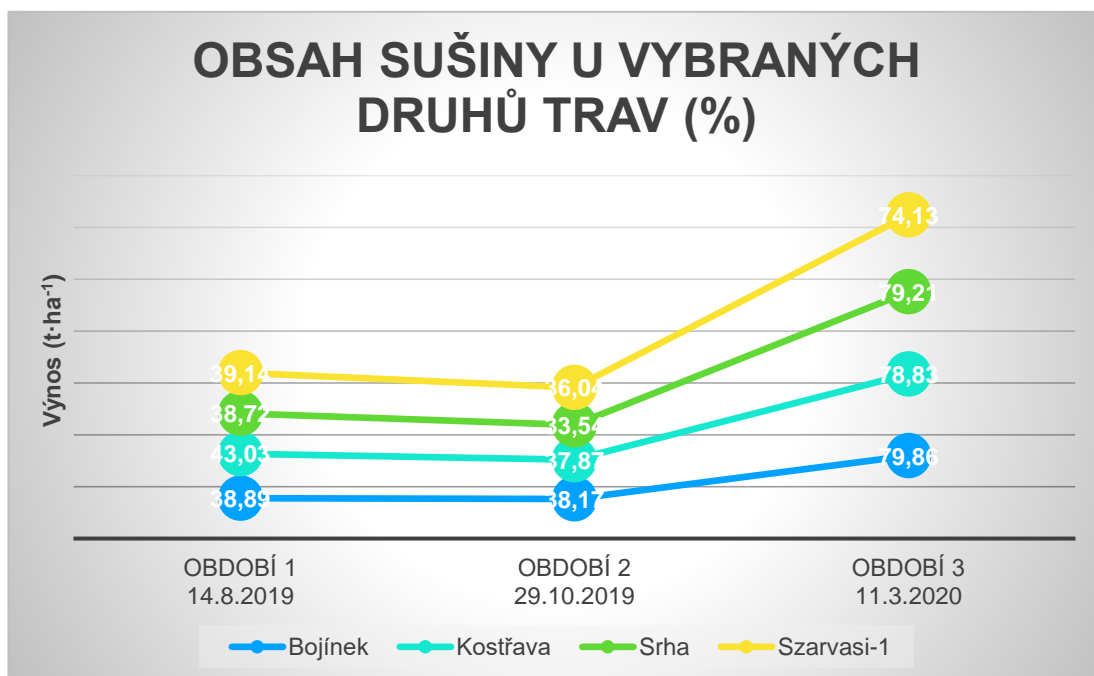


### 5.3 Procentuální obsah sušiny a vody

Energetické využití trav není závislé pouze na výnosnosti jednotlivých druhů, ale i na procentuálním obsahu sušiny. Díky zjištěnému procentuálnímu obsahu sušiny, se poté lépe určuje vhodný termín sklizně vybraných druhů trav pro jejich energetické využití.

Z grafu 9 je zřejmé, že nejvyšších hodnot sušiny bylo u jednotlivých druhů trav dosaženo v jarním období. Frydrych a kol. (2001) uvádějí, že procentuální obsah sušiny u trav v době jejich zrání se pohybuje od 17-25 %. Od prvního termínu sklizně se podíl sušiny v travách markantně navyšuje. Rychlé navýšení podílu sušiny je zapříčiněno větším nárůstem biomasy a rovněž tak stárnutím porostu, kdy u rostlin se snižuje obsah vody. Havlíčková a kol. (2008) tvrdí, že rostliny, které jsou sklizeny brzy na jaře, mají procentuální obsah sušiny 20–40 %. Frydrych a kol. (2001, 2005, 2006) doplňuje, že v době zrání může být obsah sušiny v nadzemní biomase až 35 %.

Graf 9: Procentuální obsah sušiny u vybraných druhů trav



V době od srpna do března, dochází vlivem stárnutí porostu ke zvýšení procentuálního nárůstu sušiny. V březnu byl procentuální nárůst sušiny nejvyšší



(79,86) a to za celou dobu, co byly vybrané druhy trav testovány. Všechny čtyři trávy, které byly podrobeny výzkumu, dosáhly nejvyšších hodnot sušiny za rok v měsíci březnu. Frydrych a kol. (2001) a Havlíčková a kol. (2008) to potvrzují, dle nich je vlhkost fytomasy trav nejnižší na jaře – pod 25 %.

## 6. Závěr

Cílem mé práce bylo sledování výnosů u vybraných druhů energetických trav (*Dactylis glomerata*, *Elymus elongatus*, *Festuca arundinacea* Schreb., *Phleum pratense* L.) v roce založení jejich porostů.

Ze zkoumaných druhů energetických trav nejvyššího výnosu sušiny dosáhla *Dactylis glomerata*. ( $1,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) a *Szarvasi-1* ( $1,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Naopak nejmenší výnos sušiny byl zaznamenán u *Festuca arundinacea* Schreb. ( $1,04 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ ). Jako nejvýhodnější se ukázal podzimní termín sklizně. Naopak nejmenšího výnosu bylo dosaženo při jarní sklizni, což bylo způsobeno ztrátami fytomasy přes zimní období.

Dalším důležitým parametrem je obsah sušiny v rostlinách. Je-li porost energetických trav určen pro spalování, je žádoucí co nejnižší obsah vody v biomase. Pokud jde o procentuální obsah sušiny, tak jeho nejvyšší hodnota byla naměřena právě v jarním termínu sklizně (74-80 %). Při pěstování travních porostů na spalování se tak jeví jako nejpříznivější právě jarní termín sklizně, kdy není potřeba dosoušení.

Výsledky testovaných druhů trav jsou pouze jednoleté, z roku jejich založení. Z tohoto důvodu jsou výnosy u našich testovaných trav velmi nízké a neporovnatelné s údaji z odborné literatury. V následujících letech bude potřeba pokračovat v dlouhodobých pokusech a lze očekávat nárůst fytomasy u jednotlivých druhů trav.

Mimoprodukční funkce travních porostů – Mimo jiné travní porosty značně přispívají na svažitéch pozemcích k omezení vodní eroze, zadržení živin, k udržení cyklu uhlíku dokonce i k úrodnosti půdy. Většinu trav u nás můžeme pěstovat takřka ve všech klimatických podmínkách.

## 7. Seznam použité literatury

1. ABBASI T., ABBASI S. A., 2009: Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 920-934.
2. AITKEN, W. D. (2003). Bílá kniha ISES: Přejít k obnovitelným zdrojům energie budoucnosti. *International solar energy society, Freiburg*
3. ANDERT, D., GERNDTOVÁ, I., HANZLÍKOVÁ, I., ANDERTOVÁ, J., FRYDRYCH, J. (2006): Využití trav při produkci bioplynu. In: *Energetické a průmyslové rostliny XI. - Sborník referát CZ Biom, Chomutov 2006: 85-90 s*
4. BARTÁK, J., ETTLER, Z., FREMR, V. Malé vodní elektrárny v západních Čechách. 1. vyd. Plzeň: *Západočeská energetika, a.s., 2003. 107 s. ISBN 80-239-1475-8.*
5. BERANOVSKÝ, Jiří. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: FCC PUBLIC s.r.o., 2001. 208 s.
6. BIKAZUGI MEZŐGAZDASÁGI NONPROFIT KFT. "Szarvasi-1" energiafű [online]. 2004 [cit. 2013-12-04]. Dostupné z: <http://www.energiafu.hu/nemesit.html>
7. BINHACK, P., & TICHÝ, L. (Eds.). (2011). *Energetická bezpečnost ČR a budoucnost energetické politiky EU*. Ústav mezinárodních vztahů, vvi.
8. BLUNK, S. L., B. M. JENKINS, R. E. ALDAS, R. ZHANG, P. ZHONGLI, C. W. YU, N. R. SKARY. ZHENG (2005): Fuel properties and characteristics of saline biomass. In: *American Society of Agricultural Engineers (ASAE)*
9. CELJAK, Ivo, BOHÁČ, Jaroslav: Využití biomasy rychle rostoucích dřevin v energetice sídel. *Biom.cz* [online]. 2008-12-01 [cit. 2015-11-10]. Dostupné z WWW: ISSN: 1801-2655.
10. CSETE, S., FARKAS, Á., BORHIDI, A., SZALONTAI, B., SALAMON-Albert, É., WALCZ, I., & PÁL, R. W. (2011). Tall Wheatgrass Cultivar Szarvasi-1 (*Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1) as a Potential Energy Crop for SemiArid Lands of Eastern Europe. *INTECH Open Access Publisher*
11. FÁBRY, Andrej. *Olejniny*. 1. vyd. Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, 1992, 419 s. ISBN 8070840439.

12. FIALA, J., TICHÝ, V. Produkční schopnost a vytrvalost píceňích odrůd trav v monokulturách. (Production ability and persistence of herbage varieties of grasses in monocultures). 1994 Rostl. Výr., vol. 40, no. 11, s. 1005-1014.
13. FRYDRYCH, J., ANDERT, D., KÁRA, J., JUCHELKOVÁ, D. (2005): Trávy jako obnovitelný zdroj energie. Úroda, 11: 37-39 s.
14. FRYDRYCH, J., ANDERT, D., KÁRA, J., JUCHELKOVÁ, D. (2006): Nové poznatky ve výzkumu energetických trav. Úroda, 54, 12: 31-33 s.
15. FRYDRYCH, J., ANDERT, D., KÁRA, J., JUCHELKOVÁ, D. (2006): Výzkum a využití trav pro energetické účely. In: Energetické a průmyslové rostliny XI. - Sborník referátů CZ Biom, Chomutov 2006: 39-45 s.
16. FRYDRYCH, J., CAGAŠ, B., MACHAČ, J.: Energetické využití některých travních druhů. (Energetic use of some grass species). Zemědělské informace ÚZPI, 23/2001, 34 s.
17. FUKSA, P: Netradiční využití biomasy v praxi [online]. 2009 [cit. 2009-10-19]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/netradicni-vyuziti-biomasy-v-praxi>>.
18. FUKSA, P: Netradiční využití biomasy v praxi [online]. 2009 [cit. 2009-10-19]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/netradicni-vyuziti-biomasy-v-praxi>>.
19. GEBER, U.: Cutting frequency and stubble height of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.): influence of quality and quantity of biomass for biogas production. Grass and Forage Science, 2002 vol. 57, no. 4, s. 389-394.
20. GERNDTOVÁ, I. (2006): Využití trav k energetickým účelům se zaměřením na produkci bioplynu. Bakalářská práce. ČZU Praha, 60 s.
21. HAVLÍČKOVÁ, K. a kol.: Zhodnocení ekonomických aspektů pěstování a využití energetických rostlin. České Budějovice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví Průhonice a Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 2007. ISBN 978-80-85116-00-7.
22. HAVLÍČKOVÁ, K., et. al. Zhodnocení ekonomických aspektů pěstování a využití energetických rostlin. ZFJČU. České Budějovice: 2007. 92 s. ISBN 978-80-7040-948-0
23. HAVLÍČKOVÁ, K; WEGER, J; BOHÁČ, J; ŠTĚRBA

24. HAVLÍČKOVÁ, Kamila. Zhodnocení ekonomických aspektů pěstování a využití energetických rostlin: vědecká monografie. 1. vyd. Průhonice [Praha]: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, 2007, 92 s. ISBN 978-80-85116-50-2.
25. HIMKEN N., LAMMEL J., NEUKIRCHEN D., CZYPIONKA-KRAUSE U., OLFS H. - W. (1997): Cultivation of Miscanthus under West European conditions: Seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization. *Plant Soil* 189, p. 117-126.
26. J., NOVÁK, D., & PROCHÁZKA, O. (1995). *Základy pěstování kukuřice a jednoletých pícnin*. Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství České republiky, 1995. ISBN 80-7105-097-0.
27. JAKUBES, J., PIKÁLEK, J., & PROUZA, L. (2006). *Příručka Obnovitelné zdroje energie*. Hospodářská komora České republiky.
28. JENÍČEK, Vladimír; FOLTÝN, Jaroslav. Globální problémy světa v ekonomických souvislostech. Praha: C.H.Beck, 2010
29. 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-proenergeticke-vyuziti-bioplynovych-stanic.html>
30. KÁRA, J, PASTOREK, Z; PŘIBYL, E; HANZLÍKOVÁ, I; ANDERT, D; GERGDTOVÁ, I; HUTLA, P; MĚKOTOVÁ, P; ABRHAM, Z; MUŤÍK, O; HLINKA, J; BRADNA, J. Výroba a využití bioplynu v zemědělství. 2007. 117 s.
31. KÁRA, J., STRAŠIL, Z., HUTLA, P., ANDERT, D., JEVIČ, P., ŠEDIVÁ, Z., ADAMOVSKEÝ, R., POLÁK, M.: Technologické systémy pro využití biopaliv z energetických plodin. (Technology systems for the use of biofuels from energy crops). Závěrečná zpráva VÚZT Praha 2004, projektu QD 1209, 121 s.
32. KLESNIL, A. Intenzivní výroba píce. 1980. 378 s.
33. KOHOUT, Pavel. Rychle rostoucí dřeviny v energetice: (topoly a vrby): [odborná monografie]. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 2010, 101 s. ISBN 978-80-7394-247-2.

34. KOVÁŘOVÁ, Marie, ABRHAM, Zdeněk, JEVIČ, Petr, ŠEDIVÁ, Zdeňka, KOCÁNOVÁ, Vlasta: Pěstování a využití energetických a průmyslových plodin. Biom.cz [online]. 2002-07-10 [cit. 2009-02-05]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/odborne-clanky/pestovani-a-vyuziti-energetickych-a-prumyslovyh-plodin>> ISSN: 1801-2655
35. KREJCAR, R. (2007). Podpora výroby elektřiny z biomasy a bioplynu v roce 2012.
36. LIBRA, Martin, POULEK, Vladislav. Zdroje a využití energie. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007. 141 s.
37. MARTYNYIAK, D., ŽUREK, G., & PROKOPIUK, K. (2017). Biomass yield and quality of wild populations of tall wheatgrass [*Elymus elongatus* (Host.) Runemark]. Biomass and Bioenergy, 101, 21-29.
38. MAST, B., LEMMER, A., OECHSNER, H., REINHARDT-HANISCH, A., CLAUPIEN, W., & GRAEFFHÖNNINGER, S. (2014). Methane yield potential of novel perennial biogas crops 47 influenced by harvest date. Industrial Crops and Products, 58, 194–203. DOI.org/10.1016/j.indcrop.2014.04.017
39. Mezinárodní konference Biomasa & Energetika: sborník referátů. 2009. v Praze: Profi Press, za podpory MPO ČR, 2009. ISSN 1801-2655.
40. MEZŐGAZDASÁGI KUTATÓ-FEJLESZTŐ KÖZHASZNÚ TÁRSASÁG: "Szarvasi-1" energiafű. [online]. 2008 [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: <http://www.energiafu.hu/nemesit.html>
41. MÍKA, V., KOHOUTEK A., BUMERL, J., SMRŽ, J., POZDÍŠEK, J. (1999): Pícninářsky zajímavé sveřepy. In: Sborník referátů z mezinárodní vědecké konference a odborného semináře katedry pícninářství. ČZU Praha, 1999, s. 177-190
42. MÍKA, V., ŘEHOŘEK V.: Sveřepy ve střední Evropě. VÚRV Praha, 2003 .151 s
43. MOUDRÝ, J., SOUČKOVÁ, H. (2006): Nepotravinářské využití fytomasy. VÚZE v Praze a ZF JU v Č. Budějovicích, 95 s.
44. MOUDRÝ, J., STRAŠIL, Z. Energetické plodiny v ekologickém zemědělství. Hradec Králové: VH press, 1998. 56 s

45. MOUDRÝ, J., STRAŠIL, Z.: Skripta z předmětu pěstování alternativních plodin, ZF Jihočeské univerzity, České Budějovice, 1999, 165 s., ISBN 80-7040-383-7.
46. NIEMELAINEN, O., JAUHUAUNEN, L., NIETTINEN, E.: Yield profile of tall fescue (*Festuca pratensis*) in Finland. *Grass and Forage Science*, SEP 2001, vol. 56, no. 3, s. 249-258.
47. OCHODEK, T. a kol.: Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy. Vysoká škola báňská-technická univerzita Ostrava, 2006, ISBN 80-248-1207-X.
48. PASTOREK, Zdeněk, KÁRA, Jaroslav a JEVIČ. Biomasa: obnovitelný zdroj energie. Praha: FCC Public, 2004, 286 s. ISBN 80-865-3406-5.
49. PETŘÍK, M. a kol. (1987): Intenzivní pícninářství. SZN Praha, 1987, 473 s.
50. PETŘÍKOVÁ, V; SLADKÝ, V; STRAŠIL, Z; ŠAFAŘÍK, M; UŠŤAK, S; VÁŇA, J. Energetické plodiny. 2006. 127 s.
51. POULÍK, Z. Výživa a hnojení pícních kultur. 1996, 36 s
52. QUASCHING, V. (2010). Obnovitelné zdroje energií. Grada Publishing as.
53. REGAL, V. Pícní a plevelné trávy. 1972. 290 s
54. REGAL, Vladimír. Pícní a plevelné trávy. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 1953. 291 s.
55. REICHHOLF, Josef. Pole a louky: ekologie středoevropské kulturní krajiny. Vyd. 1. Praha: Knižní klub, 1999, 223 s. Průvodce přírodou (Knižní klub). ISBN 80-7176-873-1.
56. RUDOLPT, W. (2013). Sanfte Sanierer und grüne Rohstoffpumpe. *Biogas Journal* ročník 16, vol. 6, p. 66–69
57. ŘÍMOVSKÝ, Karel, HRABĚ, František, VÍTEK, Lubor. Pícninářství: polní pícniny. Brno: Vysoká škola zemědělská v Brně, 1989. 165 s.
58. SCHRABAUER, Josef. Trockentolerante, perennierende Gräserarten für eine Futternutzung bzw. energetische Verwertung im semihumiden und semiariden Produktionsgebiet. Wien, 2010. Dostupné z: [https://zidapps.boku.ac.at/abstracts/oe\\_list.php?paID=3&paSID=8166&paSF=1&paCF=0&paLIS T=0&language\\_id=DE](https://zidapps.boku.ac.at/abstracts/oe_list.php?paID=3&paSID=8166&paSF=1&paCF=0&paLIS T=0&language_id=DE). Masterarbeit. Universität für Bodenkultur Wien.
59. SCHWARZ H., LIEBHARD P., EHRENDOFER K., RUCKENMAUER P. (1994): The effect of fertilization on yield and quality of *Miscanthus sinensis* 'Giganteus'. *Industrial Crops Products* 2, p. 153-159.

60. SLADKÝ, V. (1995): Příprava paliva z biomasy. Studijní informace, Ř. Zeměd. Techn. a Stavby, ÚZPI Praha, 50 s
61. SRDEČNÝ, K., TRUXA, J. (2000): Obnovitelné zdroje energie v Jižních Čechách a Horním Rakousku. Praha: EkoWATT, 77 s.
62. STRAŠIL, Z. Study of reed canary grass – possible source for energy utilization. Italian Journal of Agronomy (Rivista di Agronomia), 2008 vol. 3, no3 supplement, s. 557-55
63. STRAŠIL, Z.: Základy pěstování a možnosti využití ozdobnice (Miscanthus), metodika pro praxi, Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2009, 52 s., ISBN 978-80-7427-006-2
64. STRAŠIL, Zdeněk. Trávy jako energetická surovina: certifikovaná metodika pro praxi. Vyd. 1. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2011, 36 s. ISBN 978-80-7427-078-9.
65. ŠANTRŮČEK, J. a kol.: Encyklopedie pícninářství. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 987-80-213-1605-8.
66. ŠANTRŮČEK, J. a kol.: Základy pícninářství. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2001. ISBN 80-213-0764-1.
67. ŠNOBL, J; ŠTAUD, J; VAŠÁK, J; ZIMOLKA, J. Rostlinná výroba IV.: Chmel, len, konopí, využití biomasy k energetickým účelům. 2004. 119 s.
68. USDA NRCS, United states department of agriculture, natural resources conservation sevice. [online]. 2008 [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: [http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/mt/plantsanimals/?cid=nrcs\\_1\\_44p2\\_057761](http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/mt/plantsanimals/?cid=nrcs_1_44p2_057761)
69. VELICH, J. a kol.: Pícninářství. Praha: Vysoká škola zemědělská, 1994. ISBN 80-213-0156-2.
70. VESELÁ, M., MRKVIČKA, J., ŠANTRŮČEK, J., ŠTRÁFELDA, J., VELICH J., VRZAL, J.: Návody ke cvičení z pícninářství. Ed.: ČZU v Praze, 203 s. 2007 ISBN 987-80-213-1605-8
71. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půd. Citováno 3. 2. 2020. Dostupné z <https://www.vumop.cz/>
72. WEGER, J., HAVLÍČKOVÁ, K. a kol. Biomasa-Obnovitelný zdroj energie v krajině. 1. vyd. Průhonice: Výzkumný ústav pro krajinu a okrasné zahradnictví. 2003. 127 s.



73. WELLIE-STEPHAN, O.: Development of grasses adapted for production of bioenergy. Proceedings paper, In 10th European Conference-Biomass for Energy and Industry, 8-11 June 1998, Wurzburg, Germany, p. 1050-1051
74. WELSH, S. L., N. D. ATWOOD a S. GOODRICH. A Utah Flora. Utah: Brigham Young University Press., 2003. Third edition.
75. WILLIAMS A., 2002. Combustion of pulverised coal and biomass. Fuel and Energy Abstracts, Volume 43, Issue 4, July 2002, str. 276.
76. Z; HUTLA, P; KNÁPEK, J; VAŠÍČEK, J; STRAŠIL, Z; KAJAN, M; LHOTSKÝ, R. Rostlinná biomasa jako zdroj energie. 2008. 83 s.

## 8. Přílohy



Obr. 1 - Odběr vzorků pro stanovení výnosu sušiny

Obr. 3 – Příprava půdy před zasetím osiva



Obr. 2 - Odběr porostu z 1m<sup>2</sup>