

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4131 Zemědělství

Studijní obor: Agropodnikání

Katedra: Katedra agroekosystémů

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

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Spalné teplo a výhřevnost vybraných energetických trav – stanovení
na základě elementární analýzy**

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Bernas

Autor bakalářské práce: Aneta Sedláková

ČESKÉ BUDĚJOVICE 2017

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta zemědělská
Akademický rok: 2015/2016

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

Jméno a příjmení: **Aneta SEDLÁKOVÁ**
Osobní číslo: **Z14561**
Studijní program: **B4131 Zemědělství**
Studijní obor: **Agropodnikání**
Název tématu: **Spalné teplo a výhřevnost vybraných energetických trav -
stanovení na základě elementární analýzy**
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. Vypracovat literární přehled shrnující problematiku pěstování vybraných energetických rostlin
2. Seznámení se s metodikou pěstování chrostice rákosovité (*Phalaris arundinacea* L.) a *Elymus elongatus*, odrůda Szarvasi-1
3. Podílet se na ošetřování porostů vybraných energetických trav
4. Stanovit spalné teplo a výhřevnost na základě zvolené metodiky
5. Vyhodnotit výsledky práce

Rozsah grafických prací: do 5 stran (tabulky, grafy, fotografická příloha)
Rozsah pracovní zprávy: 30-40 stran včetně příloh
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

1. CSETE, S. et al. (2011). Tall Wheatgrass Cultivar Szarvasi-1 (*Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1) as a Potential Energy Crop for Semi-Arid Lands of Eastern Europe. INTECH Open Access Publisher.
2. FRYDRYCH, J., ANDERT, D., JUCHELKOVÁ, D. (2009). Výnosový potenciál trav vhodných k energetickému využití. Agritech Science.
3. HAVLÍČKOVÁ, K. et al. (2008). Rostlinná biomasa jako zdroj energie. Průhonice: VÚKOZ Průhonice.
4. KUBÍČKOVÁ-HANUŠOVÁ, A. et al. (2006). Energetické dřeviny ve srovnání s energetickými stébelnatými a vliv hnojení na kvalitu biomasy z hlediska energetických technologií. In: Agroregion 2006 - Zvyšování konkurenceschopnosti v zemědělství, České Budějovice, s. 65-69.
5. PETŘÍKOVÁ, V. et al. (2006). Energetické plodiny. Praha: ProfiPress, s.r.o.
6. SOUČKOVÁ, H. et al. (2006). Nepotravinářské využití fytomasy. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
7. STRAŠIL, Z. et al. (2011). Trávy jako energetická surovina: Certifikovaná metodika pro praxi. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i..
8. ŠTINDL, P. et al. (2006). Chemické složení biomasy a hygienické aspekty využívání přírodních surovinových zdrojů bioenergie. In: Agroregion 2006 - Zvyšování konkurenceschopnosti v zemědělství (Půda - základ konkurenceschopnosti zemědělství), České Budějovice, s. 131-135.
9. ŠTINDL, P., KOLÁŘ, L., KUŽEL, S. (2006). Spalné teplo biomasy a jeho výpočet z elementárního složení. In: Agroregion 2006 - Zvyšování konkurenceschopnosti v zemědělství (Půda - základ konkurenceschopnosti zemědělství), České Budějovice, s. 136-140.

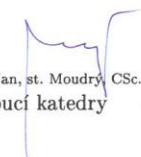
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jaroslav Bernas**
Katedra agroekosystémů

Datum zadání bakalářské práce: **15. března 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2017**


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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentů 1888, 370 05 České Budějovice


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

V Českých Budějovicích dne 15. března 2016

Abstrakt

Obnovitelné zdroje energie jsou z velké části zastoupeny energií z biomasy, která je pak využívána mnoha způsoby. Mezi ty nejběžnější patří přímé spalování fytomasy s cílem výroby tepla. K těmto účelům je v mnoha případech pěstována lesknice rákosovitá, které by mohla konkurovat jiná, výkonnější energetická tráva Szarvasi-1. Cílem bakalářské práce je porovnat vhodnost vybraných energetických trav (*Phalaris arundinacea* L. a *Elymus elongatus* subsp. *Ponticus* cv. Szarvasi-1) k účelům přímého spalování z hlediska výtěžnosti energie z jednotky produkce i plochy v rámci různých intenzit hnojení.

Klíčová slova

Fytomasa, lesknice rákosovitá, Szarvasi-1, spalné teplo, výhřevnost

Abstract

Renewable energy sources are largely represented by biomass energy, which is then used in many ways. Among the most common are the phytomass direct combustion to heating. For these purposes, in many cases grown Reed canary grass, which could compete with other, more efficient energy grass Szarvasi -1. Aim of this work is to compare the suitability of selected energy grasses (*Phalaris arundinacea* L. and *Elymus elongatus* subsp. *Ponticus* cv. Szarvasi-1) for purposes of direct combustion in terms of the energy yield of the unit of production and unit of area under various intensities of fertilization.

Key words

Phytomass, Reed canary grass, Tall Weatgrass, higher heating value, lower heating value

Prohlášení

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

V Českých Budějovicích dne 15. dubna 2017

.....

Aneta Sedláková, autor

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Jaroslavu Bernasovi za jeho cenné rady, vstřícnost, trpělivost a veškerou pomoc při vypracování bakalářské práce. Dále děkuji pracovníkům Fakulty rybářství a ochrany vod (FROV) za spolupráci při zpracování dat pro účely této bakalářské práce.

OBSAH

1	ÚVOD.....	9
2	LITERÁRNÍ PŘEHLED	10
2.1	OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE.....	10
2.2	FYTOMASA	11
2.3	ZPŮSOBY ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ FYTOMASY	11
2.3.1	VÝHODY A NEVÝHODY ENERGETICKÉHO VYUŽÍVÁNÍ FYTOMASY	12
2.4	ENERGETICKÉ ROSTLINY	13
2.4.1	JEDNOLETÉ ENERGETICKÉ ROSTLINY	14
2.4.2	VÍCELETÉ ENERGETICKÉ ROSTLINY	14
2.5	LESKNICE RÁKOSOVITÁ (<i>Phalaris arundinacea</i> L.).....	14
2.5.1	BOTANICKÁ CHARAKTERISTIKA.....	14
2.5.2	AGROTECHNIKA A OŠETŘOVÁNÍ POROSTŮ	15
2.5.3	VÝŽIVA A HNOJENÍ.....	16
2.5.4	OŠETŘENÍ POROSTŮ	17
2.6	SZARVASI-1 (<i>Elymus elongatus</i>)	17
2.6.1	BOTANICKÁ CHARAKTERISTIKA.....	17
2.6.2	AGROTECHNIKA A OŠETŘOVÁNÍ POROSTŮ	18
2.6.3	VÝŽIVA A HNOJENÍ.....	18
2.6.4	OŠETŘENÍ POROSTŮ	19
3	VYUŽITÍ FYTOMASY PRO PŘÍMÉ SPALOVÁNÍ.....	19
3.1	SPALNÉ TEPLA.....	19
3.2	VÝHŘEVNOST	20
4	CÍL PRÁCE	20
4.1	HYPOTÉZY	21
5	MATERIÁL A METODIKA.....	21
5.1	LOKALITA	21
5.2	POLNÍ POKUSY	22
5.3	LABORATORNÍ PRÁCE.....	23
5.3.1	STRUČNÝ POPIS ANALÝZY:.....	24

5.4	METODA VÝPOČTU	24
6	VÝSLEDKY A DISKUSE	25
7	ZÁVĚR	31
8	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	32
8.1	ODBORNÁ LITERATURA	32
8.2	INTERNETOVÉ ZDROJE	35
9	PŘÍLOHY	37

1 ÚVOD

Obnovitelné zdroje energie jsou nejen v podmínkách České republiky významně zastoupeny energií z biomasy. V poslední době je zaznamenán rozvoj též v oblasti cíleného pěstování energetických rostlin, které lze využít mnoha způsoby. Patří mezi ně i jejich přímé spalování za účelem výroby tepla, což může být pro zemědělce velmi atraktivní investice zejména v oblastech marginálních. Pěstování energetických rostlin nepatří mezi technologicky a energeticky náročné procesy, ale faktorem, který rozhoduje o konečné efektivitě je celkový zisk energie. Proto je vhodné hledat způsoby zefektivnění nejen v rámci pěstebního procesu, ale i v rámci zavádění jiných alternativních rostlinných druhů. V současné době je pro účely přímého spalování pěstována řada vybraných vytrvalých energetických rostlin. Mezi ty patří také lesknice rákosovitá, která si díky svému stabilnímu výnosovému potenciálu a charakteru vytrvalé rostliny našla místo mezi pěstiteli zajímavými se o tuto problematiku. Zejména v oblasti severní Evropy je tato energetická tráva poměrně hojně rozšířena. Této rostlině by však mohla konkurovat nově zaváděná, výkonnější energetická tráva Szarvasi-1. Ta je dnes využívána především za účelem získání fytomasy pro potřeby bioplynových stanic. Její pěstování by však mohlo najít uplatnění i v oblasti přímého spalování. Významným aspektem je pak vysoký výnosový potenciál i tendence k vyšším hodnotám spalného tepla a výhřevnosti. Kromě těchto vlastností s sebou nese i jiné významné benefity, jako je ochrana půdy před vodní a větrnou erozí, nízká náročnost na vnější vstupy v podobě hnojiv a přípravků na chemickou ochranu, či ochranu biodiverzity.

2 LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE

„Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka.“ (Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí). Zdroje energie, podle (MATOUŠEK, 2007 a MASTNÝ, 2011), se dělí na neobnovitelné a obnovitelné (OZE). Obnovitelnými zdroji chápeme „obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu z čistíren odpadních vod a energie bioplynu.“ (Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie). Podle LIBRA, POULEK (2007) je z OZE biomasa pro Českou republiku jedním z nejvýznamnějších obnovitelných zdrojů energie. Vznikla i takzvaná neobnovitelná (fosilní) paliva a jejich využívání není trvale udržitelné. Fosilní paliva představují významný zdroj energie, avšak jejich spalování přispívá ke všeobecnému znečišťování životního prostředí (NICOLETTI et al., 2015) a významně se podílí na produkci emisí skleníkových plynů (MOUTINHO et al., 2016). V souvislosti s vyčerpatelností fosilních paliv vzrůstá význam obnovitelných zdrojů energie (GÜRDIL et al., 2009), jež jsou obecně považovány za zdroje „čisté“ (PANWAR et al., 2011). Nejvýznamnější z nich je biomasa (JASINSKAS, ŠATEIKIS, 2009), zejména při jejím využití formou spalování (MALAŤÁK et al., 2008). S tím souhlasí i PASTOREK et al. (2004) a DEMIRBAS, (2004), kteří považují biomasu za největší zdroj energetického potenciálu. Dále ji společně s LANDOU (1956) definují pojmem substance biologicky rozložitelné části výrobků, získávanou buď jako výsledný produkt výrobní činnosti nebo se jedná o využití odpadů z průmyslu, jako je například zemědělství, potravinářství, lesní výroba nebo je získávána jako odpad z komunálního a lesního hospodářství, či z údržby krajiny a péče o ni. Biomasa bude k dispozici neustále a MASTNÝ et al. (2011) jí popisují jako přeměněnou sluneční energii, zachycenou rostlinami a uloženou ve formě chemické energie. Navíc jejím spalováním se nepřispívá ke zvyšování koncentrace CO₂ v ovzduší, což podporuje celosvětový trend snižovat produkci skleníkových plynů (SVĚTLÍK, 2001). S tím souhlasí i (SOUČKOVÁ, MOUDRÝ, 2006) a dodávají, že tímto vlivem přispívá biomasa k omezení

skleníkového efektu. MOUDRÝ, STRAŠIL (1999) uvádějí, že v současné době biomasa pokrývá 14% celosvětové potřeby energie. Evropská unie si do roku 2020 stanovila cíl pokrýt 20 % své energetické spotřeby z OZE. Každý člen má vyměřený určitý cíl podle výchozích možností a geografických podmínek. Česká republika musí z čistých zdrojů pokrývat 13% své potřeby (ERÚ, 2015). Největší získaný podíl výroby elektřiny v OZE v České Republice, ale i v Evropské Unii, mají vodní elektrárny s výkonem nad a pod 10MW s necelými 3%. Zejména je to dáno nedostatečným spádem řek a vody v nich. Určité možnosti k navýšení výkonů vodní energie je možný pouze tehdy, pokud se uskuteční výstavba malých vodních elektráren a rekonstrukce těch stávajících (MASTNÝ et al., 2011).

2.2 FYTOMASA

Podle BLAŽEJ, KOŠÍK (1985) lze charakterizovat fytomasu jako organickou hmotu fotoautotrofních rostlin (řas, jednoletých rostlin, dřevin), která probíhá v přírodě pomocí fotosyntézy. Dále zmiňují, že fotoautotrofní rostliny mají schopnost syntetizovat organické sloučeniny z vody a oxidu uhličitého. Tato schopnost má obrovský význam pro život na Zemi a umožňuje tak obnovovat surovinové uhlíkové zdroje. SOUČKOVÁ et al. (2006) uvádějí, že fytomasa může být surová nebo zpracovaná, s vnitřním obsahem chemické energie, kterou je možno přeměnit na elektřinu nebo teplo. Její množství se vyjadřuje v hmotnosti sušiny a rozděluje se na fytomasu podzemní a nadzemní. Hlavním významem fytomasy je rostlinná hmota, která je významným obnovitelným zdrojem surovin a energie. Dále SOUČKOVÁ, MOUDRÝ (2006) zmiňují, že lze přebytečné půdy využít pro pěstování energetických plodin, na která navazuje účelná údržba krajiny a vytvoření nových pracovních míst v regionech.

2.3 ZPŮSOBY ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ FYTOMASY

Fyzikální vlastnosti fytomasy, především výhřevnost, elementární analýza, sypná, respektive měrná hmotnost a hrubý rozbor (tj. obsah vody, popela, těkavých látek a pevně vázaného uhlíku), mají úzkou vazbu na získávání energie (HAVLÍČKOVÁ et al., 2007). Dále se zmiňují, že u všech forem energetické fytomasy je sledován především energetický zisk. V České Republice je v současné době asi 500 000 ha nevyužité zemědělské půdy. Podstatná část zemědělské půdy se nachází v horských a podhorských oblastech s nepříznivými půdními

a klimatickými podmínkami. Tudíž je zřejmá nízká ekonomická efektivnost intenzivní zemědělské výroby, zaměřené na dosud tradiční potravinářské využití, jejichž uplatnění na trhu a zvýšení jejich konkurenceschopnosti klesají (MOUDRÝ, STRAŠIL, 1998). Přispívání k rozvoji venkovské krajiny a rozvoji zemědělství, ke stabilizaci zaměstnanosti a zvýšení efektivnosti hospodaření zemědělských podniků i zpracovatelských kapacit se otevírá prostor pro nepotravinářské využití fytomasy (SOUČKOVÁ et al., 2006).

2.3.1 VÝHODY A NEVÝHODY ENERGETICKÉHO VYUŽÍVÁNÍ FYTOMASY

Při využívání biomasy jako obnovitelného zdroje energie musíme brát v úvahu aspekty ekonomické, ekologické i bezpečnostní. Mezi výhody jejího využívání patří především zachování biodiverzity, která v daném ekosystému plní funkci rostliny potravní a ochrannou, chrání půdy proti erozi, zadržuje vodu v krajině, přispívá k ekonomickému rozvoji regionu a k novým pracovním příležitostem. Dále je to obnovitelný zdroj energie bez škodlivých emisí a těžkých kovů a při jejím spalování dochází k neutrální bilanci CO₂, kdy jeho uvolněné množství do ovzduší odpovídá množství, které rostlina navázala. Mezi nevýhody využívání biomasy patří vyšší náklady, pokud nedochází ke zpracování v místě zdroje, poté nebezpečí úniku škodlivin a kontaminace při některých technologiích, zdroj zápachu při špatném technickém stavu, sezónnost využití u polních plodin a v porovnání s fosilními palivy může dojít k menší spolehlivosti i energetické vydatnosti (STUDENTÍK, SVITAVSKÝ, 2016). Možnosti energetického využívání fytomasy je možné buď suchou, nebo mokrou cestou. Jedním ze způsobů suché cesty je přímé spalování. Spalováním biomasy dochází k ohřevu vody (tj. k výrobě tepla páry, nebo elektrické energie), jak uvádí MOUDRÝ et al., (2006), a při teplotě nad 660°C k rozkladu organického materiálu na hořlavé plyny, destilační produkty, uhlí a dále oxidací na oxid uhličitý a vodu. Biomasa je velmi výhodná pro energetické využití. CO₂ vyloučený při spalování je využit zpět rostlinami na fotosyntézu. Biomasa neobsahuje téměř žádnou síru, má nízký obsah těžkých kovů, nízký obsah popelovin a se spalinami se do ovzduší nedostane (MOUDRÝ, SOUČKOVÁ et al., 2006). Spalování fytomasy se nejčastěji provádí v menších kotelnách o výkonu 8kW – 45kW (kotle nízkých výkonů pro rodinné domky) či ve středních kotelnách (kotle vysokých výkonů pro obecní spalovny)

o výkonu 45Wk - 5000kW. V závislosti na výkonu každého kotle je dodáván energetický produkt (HAVLÍČKOVÁ et al., 2007). Dalším způsobem suché cesty je zplyňování rostlinné hmoty o sušině 50 – 80 %. Je to proces termochemické přeměny uhlíkatého materiálu v pevném či kapalném skupenství na výhřevný energetický plyn pomocí zplyňovacího prostředí a tepla, kterého se účastní celá řada reakcí. Obecně se jedná o čtyři základní pochody, zejména sušení, pyrolýzu, redukci a oxidaci. Potřebné teplo může být získáváno přímo v reaktoru oxidací (hořením) části paliva, nebo může být přivedeno z okolního prostředí. Produktem je plyn obsahující výhřevné složky (H_2 , CO , CH_4), doprovodné složky (CO_2 , H_2O , N_2) a znečišťující složky - dehet, prach, sloučeniny síry a draslíku (POHOŘELÝ, JEREMIÁŠ, 2010). Co se týče mokré cesty, je to proces s vysokým podílem vlhkosti, který zahrnuje především anaerobní fermentaci mokré hmoty o obsahu sušiny 4 – 12%, nebo 25 – 35% (MOUDRÝ, SOUČKOVÁ, 2006). Ti popisují anaerobní fermentaci – metanizaci jako rozklad biomasy pomocí speciálních bakterií bez přístupu vzduchu, přičemž je uvolňován metan (CH_4) jako zplodina metabolismu a je využíván pro výrobu elektrické energie a tepla – kogenerace, ta umožňuje větší využití energie paliva. KÁRA et al. (2001) uvádí, že hlavním produktem anaerobní fermentace organické hmoty je bioplyn, bezbarvý plyn produkovaný právě během anaerobní fermentace organických materiálů, skládající se z metanu (cca 60 %) a oxidu uhličitého (cca 40%). Produkci bioplynu zejména ovlivňuje pufrovitost substrátu (odolnost vůči změnám pH), poměr C:N, obsah proteinů, polysacharidů a ligninu. Na výsledné složení bioplynu má vliv celá řada faktorů, především druh rozkládaného materiálu (ALTMANN et al., 2010).

2.4 ENERGETICKÉ ROSTLINY

Energii z energetických rostlin získáváme pomocí chemických i biochemických procesů. Pro tyto účely lze využívat rostliny bylinného charakteru, zejména jde o různé druhy jednoletých, víceletých a vytrvalých rostlin (MOUDRÝ, STRAŠIL, 1998). Jak uvádí HAVLÍČKOVÁ et al. (2007), ekonomicky a energeticky efektivnější je pěstování rostlin víceletých a vytrvalých než tradičních jednoletých. S tím souhlasí i MOUDRÝ et al. (2006) a dodává, že při pěstování vytrvalých rostlin v prvním roce jsou náklady nejvyšší, ale v následujících letech celkové náklady klesají, neboť se snižují náklady na zpracování půdy, setí, hnojení a chemickou ochranu.

2.4.1 JEDNOLETÉ ENERGETICKÉ ROSTLINY

Jednoleté rostliny jsou vhodné pro rychlou produkci biomasy, jejich setí a sklizeň se provádí pomocí běžné zemědělské techniky, což u vytrvalých rostlin není vždy možné. Co se týče energetické rentability, poměr mezi vloženou a získanou energií bývá obvykle 1 : 2 (WEGER et al., 2012). Mezi jednoleté fytoenergetické rostliny řadíme především řepku, obiloviny, slunečnici, kukuřici, cukrovou řepu, brambory, konopí, čirok, len, mák a jiné (MOUDRÝ, STRAŠIL, 1998). Dále uvádějí, že významným zdrojem biomasy pro zemědělské účely je sláma, která je obecně využívána ke hnojení pro zlepšení struktury půdy a zvýšení její úrodnosti.

2.4.2 VÍCELETÉ ENERGETICKÉ ROSTLINY

Jedná se o vysokovzrůstné rostliny, u nás běžně známé, planě rostoucí, nebo o rostliny dovezené jako vyšlechtěné pícniny. Zejména jde o rostliny mírného pásma. Sklizeň těchto rostlin se provádí v období maximální sušiny v pozdním podzimu nebo brzy na jaře. Jedním z důležitých hledisek, podle kterého je hodnocena vhodnost biomasy pro energetické účely, je spalné teplo a výhřevnost jednotlivých druhů rostlin (UŠŤAK, 2006).

2.5 LESKNICE RÁKOSOVITÁ (*Phalaris arundinacea* L.)

2.5.1 BOTANICKÁ CHARAKTERISTIKA

Lesknice rákosovitá, nazývaná také chrastice rákosovitá, z čeledi lipnicovitých (*Poaceae*), je cizosprašná výběžkatá rostlina, patřící mezi naše nejvyšší trávy. Jedná se o autochtonní druh, který je přirozeně rozšířen po celém území našeho státu, kde je dostatek půdní vláhy (SOUČKOVÁ et al., 2006). Původní oblastí jejího výskytu je Evropa, mírné oblasti Asie, Severní Amerika a Severní Afrika (HAVLÍČKOVÁ et al., 2007). Řadíme ji mezi vytrvalé rostliny, je náročná na vodu a živiny, nenáročná na agrotechniku (PETŘÍKOVÁ et al., 2006). Běžně je pěstována jako pícnina na siláž, seno nebo čerstvou píci (HAVLÍČKOVÁ et al., 2007). Neškodí jí holomrazy ani pozdní jarní mrazíky (LEWANDOWSKI et al., 2003). Také je odolná vůči zastínění nebo krátkodobému zavodnění (MOUDRÝ, SOUČKOVÁ, 2006). Chrastice dorůstá do výšky 80 až 250 cm (STRAKOVÁ et al., 2007). Vytváří dlouhé podzemní oddenky, které jsou rozprostřeny těsně pod povrchem půdy a její mohutný kořenový systém proniká do značné hloubky

(SOUČKOVÁ et al., 2006). Rozmnožuje se generativně i vegetativně (WEBER, 2003). Stébla bývají přímá a mohutná, zakončena jednostrannou latou. Často dosahují výšky 2 metrů. Sterilní výhony jsou hustě olistěné (HAVLÍČKOVÁ et al., 2007). Listy lesknice rákosovité mají tmavozelené zbarvení, bývají 10 – 35 cm dlouhé a 0,6 – 2 cm široké. Jejich pochvy jsou hladké, úzké, bílé blanitě lemované. Jazyček o délce 0,6 – 1 cm, čárkovitě dělený, tupý, později až roztřepený (ŠNOBL et al., 2004). Plodem chrastice je vejčitá nahá obilka. Obilka je žlutohnědé až hnědé barvy o délce 1,5 – 4 mm a šířce 1 mm. Hmotnost tisíce semen se pohybuje kolem cca 0,8 g (SOUČKOVÁ, MOUDRÝ et al. 2006). U nás v ČR se rozrůstá v měsíci červen, červenec (USŤAK et al., 2012). Chrastice rákosovitá se nejvíce vyskytuje v oblasti vodních toků. Je odolná vůči drsným klimatickým podmínkám. Nejlépe se jí daří v těžších půdách s bohatou zásobou živin. Co se týče půdních reakcí, není zvláště citlivá, pH v rozhraní od 4,0 do 7,5 s optimem kolem pH 5,0 (HUTLA, 2004).

2.5.2 AGROTECHNIKA A OŠETŘOVÁNÍ POROSTŮ

Lesknici je vhodné umístit na nezaplevelený pozemek. Je nenáročná na předplodinu. V podstatě jí je možné sít po všech předplodinách. Příhodnou předplodinou jsou luskoobilní směsky a obilniny, které následují buď po píce, nebo po ozimé řepce (HAVLÍČKOVÁ et al., 2007). Agrotechnika je podmíněna na účelu jejího pěstování. Chrastici je možné pěstovat na semeno, píci nebo průmyslové využití. Semeno se vysévá na přiměřeně vlhký pozemek s těžší půdou, s dostatkem živin, do širších řádků o délce 25-30 cm. Po předplodině by měla být učiněna podmítka a přihnojení. Půda by měla být před setím dokonale připravena, uválena a nezaplevelena. Mezi nejnebezpečnější plevely trávy řadíme například pýr plazivý nebo lipnici obecnou. Výsevek při pěstování na semeno dosahuje 10-15 kg.ha⁻¹ (STRAŠIL et al., 2011). Za optimální hloubku setí se považuje délka 2-3 cm. Výsev se provádí na podzim nebo časně z jara zároveň s krycí plodinou, nebo také bez krycí plodiny časně na jaře. Chrastice by měla být zaseta na podzim do 20. – 25. srpna, z důvodu řádného zakořenění do zimy. Dozrává ke konci července. Výnosy semene dosahují 0,2-0,4 t.ha⁻¹ (HUTLA, 2004). Při pěstování chrastice na píci se seje do užších řádků na vzdálenost 12,5 cm až 30 cm. Výsevek v čisté kultuře tedy činí 20-25 kg.ha⁻¹ semene (STRAŠIL et al., 2011). Pokud chceme dobrou kvalitu píce, musíme její porosty sklízet ještě před fází

metání, kdy seno obsahuje značně vysoké procento bílkovin. Po vymetání se rychle redukuje její stravitelnost. V literatuře se uvádí, že Chrastice rákosovitá má průměrný obsah živin a horší stravitelnost než ostatní pícní trávy (USŤAK et al., 2012). Při pozdější sklizni se doporučuje zesilážovat. Obvyklé jsou dvě až tři seče za rok (HUTLA, 2004). Porosty chrastice rákosovité příslušné pro energetické využití se zakládají obdobně jako na píci. Dobře založené porosty vydrží i několik let. Z energetického a ekonomického aspektu je důležité, ve kterém termínu je třeba plodiny sklízet (STRAŠIL, 2011). Doporučují se sklízet během zimy nebo po zimě brzy na jaře, kdy drží rostliny nízký obsah vody (12-20 %). Takováto vlhkost v rostlině je vhodná k přímému lisování do briket nebo palet, skladování nebo bezprostřednímu spalování. Na rozdíl od pěstování na píci se většina plodin stejně jako chrastice, sklízí pro energetické účely pouze jedenkrát do roka. Z tohoto důvodu je dosahováno nižších výnosů, než u píce, u které se provádí více sečí (USŤAK et al., 2012). Jak uvádí HAVLÍČKOVÁ et al., (2007), průměrné výnosy sušiny činí v rozmezí 4,5 – 9 t/ha. Co se týče spalného tepla sušiny celé rostliny, pohybuje se v průměru 17,52 GJ/t. Jako další výhodou sklizně po zimě se uvádí, že množství živin obsažených v rostlinách je na jaře poloviční v porovnání s rostlinami sklizenými například v měsíci srpen (PETŘÍKOVÁ et al., 2006). Je to dáno příčinou translokací živin do kořenové části a jejich vyluhováním během zimy (HAVLÍČKOVÁ et al., 2007). Porosty je možné každoročně přihnojovat nejlépe na jaře počátkem vegetačního období (HUTLA, 2004).

2.5.3 VÝŽIVA A HNOJENÍ

Dle HAVLÍČKOVÉ et al., (2007) je chrastice značně náročná na živiny. Vezmeme-li v úvahu fakt, že hnojení doporučenou dávkou dusíku nepřesahuje 100 kg/ha za rok, můžeme tuto rostlinu považovat za méně náročnou na živiny (USŤAK et al., 2012). Převážně u nás, v České republice, na úrodnějších půdách dostačují každoroční dávky N 50 až 80 kg/ha⁻¹. Při hnojení musíme také brát zřetel na to, jaká je zásoba živin v půdě, kde se plodina pěstuje a jakých výnosů dosahuje na příslušném stanovišti, tj. jak mnoho živin odchází z pole se sklizenou fytomasou. Při pěstování chrastice k energetickým účelům lze porost každoročně přihnojovat průmyslovými N, P, K hnojivy nejlépe ihned po sklizni (HUTLA, 2004, STRAŠIL et al., 2006).

2.5.4 OŠETŘENÍ POROSTŮ

Choroby ani škůdci většinou u lesknice nečiní značné problémy, jen za určitých podmínek se mohou vyskytnout listové choroby. Proti plevelům je možné aplikovat herbicidy, které se používají do jarních obilnin a to nejlépe ve fázi 2-5 listů (HUTLA, 2004). Běžně se doporučují aplikovat herbicidy značky STARANE EC 250 v dávce 2 l.ha⁻¹ nebo LONTREL 300 v dávce 0,8 l.ha⁻¹, a jako další Agritox v dávce 1,5 l.ha⁻¹ nebo Harmony Extra v dávce 0,5 kg.ha⁻¹. Také je možné aplikovat řadu dalších herbicidů, které jsou uvedeny například v příručkách pro ochranu rostlin (STRAŠIL et al., 2011).

2.6 SZARVASI-1 (*Elymus elongatus*)

2.6.1 BOTANICKÁ CHARAKTERISTIKA

Szarvasi-1, jako energetická rostlina, je název odrůdy hybridní trávy, náležící čeledi lipnicovité (*Poaceae* L.). V německy mluvících zemích je také známá pod názvem „Riesenweizengras“ (tzv. „obří listová zelenina“). Jedná se o suchomilnou, vytrvalou rostlinu, určenou výhradně k použití do bioplynových stanic, nikoliv sloužící jako krmivo pro hospodářská zvířata. Vytváří trsy s životností růstu dlouhou 5–10 let (JANOWSZKY and JANOWSZKY, 2002). Jejím původem je město zvané Szarvas, ležící v evropském regionu ve východním Maďarsku, kde byla tato rostlina vyvinuta pro tvorbu biomasy, dodává CSETE et al. (2011). S tím souhlasí i SCHRABAUER (2010) a také uvádí, že je Szarvasi-1 vhodná pro spalování díky nižšímu obsahu dusíku a síry než například obsahuje ozdobnice čínská. Z pohledu krajiny a životního prostředí je neinvazivní a protierozní. Dále CSETE et al. (2011) poukazuje na Szarvasi-1 (*Elymus elongatus*), jako na nativní druh kontinentálního a subkontinentálního klimatu, dobře snášející vysoké letní teploty dosahující 30-35°C, a je odolný vůči jarním mrazíkům. Zvládá i chladné zimní dny, kdy teplota klesá pod -35°C. Szarvasi-1 je rozšiřována semenem. Vyznačuje se nitkovými kořeny, které ve velkém množství pronikají do půdní hloubky 3,5 metru. Za optimálních podmínek mohou stébla růst do výšky 180-220 cm (MELDERIS, 1980). Stonek je šedozelené barvy, lysý, robustní, řídce olistěný (CSETE et al., 2011). Nožů má pouze 2-4. Listy jsou tuhé, rovněž šedozelené barvy, jejich povrch je křehký. Dosahují délky 30 cm (SCHRABAUER, 2010). Stonky i listy drží husté chloupkovité pokrytí, které zvyšuje odolnost vůči suchu (CSETE et al., 2011). Květenství se skládá z přímých, 20 až 30 cm dlouhých lichoklasů

(BIKAZUGI MEZŐGAZDASÁGI NONPROFIT KFT, 2004). Klásek je tvořen ze 7–15 kvítků, uvádí CSETE et al., (2011). Plodem je obilka, připomínající tvar kopí, o délce 0,8–1,2 cm. HTS okolo 2,8–3,8g (JANOWSZKY and JANOWSZKY, 2002).

2.6.2 AGROTECHNIKA A OŠETŘOVÁNÍ POROSTŮ

PETŘÍKOVÁ et al. (2006) doporučuje umístit Szarvasi-1 na nezaplevelený pozemek. CSETE et al. (2011) uvádí, že tato energetická rostlina preferuje půdní podmínky obdobné s běžnými obilovinami, jako je například oves nebo pšenice. Ve srovnání se střední nebo těžší půdou, se rychleji vyvíjí na lehčích půdách, tj. na písku a písečných oblastech. Dále dává přednost alkalickým zeminám, kde hodnota pH je mezi 6,5 a 10. Ani na neutrálních či mírně kyselé půdy nebrání dobré produkci biomasy. Pokud hodnota pH klesne pod 5,5, dochází ke ztrátám na výnosu, dodává CSETE et al. (2011). Dle SCHRABAUER (2010) výnosy přichází ve druhém roce. Největší přírůstek hmoty bývá časně z jara a na podzim. Průměrný výnos sušiny se pohybuje v rozmezí 10 - 15 t/ha. Sušina dosahuje výhřevnosti přibližně 14 - 17 MJ/kg. Szarvasi-1 je vhodné sít na přelomu března až dubna, kdy první sklizeň nastane v září. Doporučená doba výsevu je od 1. do 20. září. Pokud se výsev provádí na přelomu září-října, je první sklizeň na konci června nebo začátkem července následujícího roku. Půda musí být připravena obdobně jako u všech ostatních obilovin, jako například u pšenice a ječmene. Semena by měla být zaseta do hloubky 2 – 2,5 cm se setím na vzdálenosti 12 – 15 cm (CSETE et al., 2011). Dále se CSETE et al. (2011) i BIKAZUGI MEZŐGAZDASÁGI NONPROFIT KFT (2004) shodují na výsevku, který činí 30 – 40 kg/ha. Nově vzcházející rostliny můžeme pozorovat ve 14 - 18 dnech po setí.

2.6.3 VÝŽIVA A HNOJENÍ

Dusík hraje velmi důležitou roli v produkci biomasy v průběhu ročního růstu. Reakce produkce biomasy na dusík je poměrně vysoká. CSETE et al. (2011) píše, že dávka 60 kg N/ha přispívá k jejímu zvýšení. Vyšší dávky než 60 kg N/ha, by neměly samy o sobě zvýšit produkci biomasy, důvodem je nedostatek jiných hlavních živin, jako je například fosfor a draslík. S cílem maximalizovat výnos biomasy energetické trávy je prokázáno nejlepším poměrem třech hlavních živin a to v poměrech 1:1:1 nebo 3:2:2. Před zakládáním porostu a po sklizni je vhodné hnojit

digestátem z bioplynových stanic, možná je i aplikace organických hnojiv (HOLUB, 2013).

2.6.4 OŠETŘENÍ POROSTŮ

Szarvasi-1 je nejčastěji napadena houbovými infekcemi typickými pro obiloviny. Plíseň se tvoří za přítomnosti optimálních živin a dostatku vody. Může způsobit vážné poškození listové struktury, a vést tak k celkové devastaci rostliny. Je zapotřebí účinná ochrana, aby se zabránilo významné ztrátě produkce biomasy (CSETE et al., 2011). BIKAZUGI MEZŐGAZDASÁGI NONPROFIT KFT (2004) uvádí, že je odolná vůči chorobám, jako je padlí travní a různé druhy rzí. Použití herbicidů je možné až ve fázi třetího listu, kdy je rostlina v podstatě nekonkurenceschopná. K odstranění plevelů by mělo dojít v rámci předset'ové přípravy podáním přípravku na bázi glyfosátu. Použití dalších pesticidů doporučuje GRUNEWALD (2012) až po fázi čtvrtého listu. CSETE et al. (2011) se zmiňuje, že po fázi čtvrtého listu je vhodná aplikace herbicidů.

3 VYUŽITÍ FYTOMASY PRO PŘÍMÉ SPALOVÁNÍ

Environmentální a ekonomické zájmy pro snižování emisí skleníkových plynů a zvyšující se palivová flexibilita byly motivací k používání paliv z biomasy, které nahrazují fosilní paliva určená pro výrobu tepla a elektřiny. Nejběžnějším způsobem přeměny biomasy na energii je její přímé spalování. Konstrukční a provozní systémy pro spalování biomasy se opírají především o samotné vlastnosti biomasy. Mezi ty patří výhřevnost, obsah vlhkosti v sušině, elementární složení, vlastnosti popela apod. (SHENG and AZEVEDO, 2005). V odborné praxi se spalné teplo a výhřevnost stanovuje buď experimentálně v kalorimetru, nebo výpočtem. Hodnota výhřevnosti paliva je vždy nižší oproti spalnému teplu o výparné teplo příslušného množství vody (ŠTINDL et al., 2006).

3.1 SPALNÉ TEPLLO

Spalné teplo (Q_s^f) je podstatná energetická hodnota, ze které se vypočítává výhřevnost jakéhokoliv paliva odečtením tepla, nezbytného k vypaření vody v palivu, ve kterém je obsaženo a odečtením vody, z obsahu vodíku v palivu vzniklé při spalování (ŠTINDL et al., 2006). PETŘÍKOVÁ et al. (2006) definuje spalné teplo jako množství tepla uvolněného dokonalým spálením jednotkového množství paliva,

přičemž voda ve spalinách zůstává v kapalném stavu. Spalné teplo vzorku je možné určit v kalorimetrické nádobě. Pokud jsou známa prvková složení hořlaviny (obsah C, H, N, O a S), můžeme spalné teplo vypočítat na základě empirických vzorců. K výpočtu spalných tepel z elementárního složení je známa řada různých vzorců, které se používají při hodnocení fosilních paliv. Jedním z často používaných vzorců je Mendělejevův (1897): $Q_s^r = [81 \cdot C + 300 \cdot H - 26 \cdot (O - S)] \cdot 4,187$ [kJ/kg]. Výsledné hodnoty jsou nejčastěji uváděny v jednotkách MJ/kg (ŠTINDL et al., 2006).

3.2 VÝHŘEVNOST

Jak uvádí SHENG, AZEVEDO (2005), výhřevnost, též v anglickém znění *calorific value* nebo *heat of combustion*, definuje energetický obsah biomasy a je jedním z nejdůležitějších charakteristických parametrů pro konstrukční výpočty a numerické simulace tepelných systémů bez ohledu na to, jestli je biomasa využívána pro přímé spalování nebo jako aditivum při spalování jiných paliv (například uhlí). Výhřevnost (Q_u) je definována podle PETŘÍKOVÁ et al. (2006) jako množství tepla uvolněného dokonalým spálením jednotkového množství paliva, přičemž voda ve spalinách zůstává v plynném stavu. SOUČKOVÁ (2006) uvádí, že výhřevnost fytohmoty je závislá zejména na obsahu vody a na chemickém složení suché dřevní hmoty při spalování. Vlhkost v palivech by podle UŠŤAKA et al., (2005) měla být pokud možno co nejnižší, aby bylo stanoveno ekologické a efektivní spalování. Za optimální vlhkost biomasy při sklizni se považuje rozmezí 15–20 %. Výtěžnost energie při zvýšené vlhkosti nad 20 % prudce klesá. PETŘÍKOVÁ et al. (2006) definuje vlhkost jako podíl vody (v %) na celkové hmotnosti vzorku paliva. Hodnoty výhřevnosti jsou nejčastěji uváděny v jednotkách MJ/kg nebo v GJ/t. Při stanovení výpočtu s 15 % vlhkostí se jejich hodnoty pohybují okolo 14–17 MJ/kg. Pro výpočet výhřevnosti je možné použít řadu vzorců, například vzorec: $Q_u = Q_v - 5,85 \cdot (W + 8,94 \cdot H)$ [kJ/kg] (HUBÁČEK et al., 1962).

4 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo porovnat vhodnost dvou druhů vytrvalých energetických trav pro účely výroby tepla prostřednictvím jejich přímého spalování a určit teoretickou výtěžnost energie z jednotky produkce i plochy. V rámci tohoto hodnocení pak bylo úkolem vypracovat literární přehled shrnující problematiku

pěstování vybraných energetických rostlin a seznámit se s metodikou pěstování chrastice rákosovité (*Phalaris arundinacea* L.) a *Elymus elongatus*, odrůda Szarvasi-1 v poloprovozních pokusech. Dalším cílem bakalářské práce bylo podílet se na ošetřování sledovaných porostů a osvojit si metody laboratorního zpracování vzorků a statistického vyhodnocení získaných dat.

4.1 HYPOTÉZY

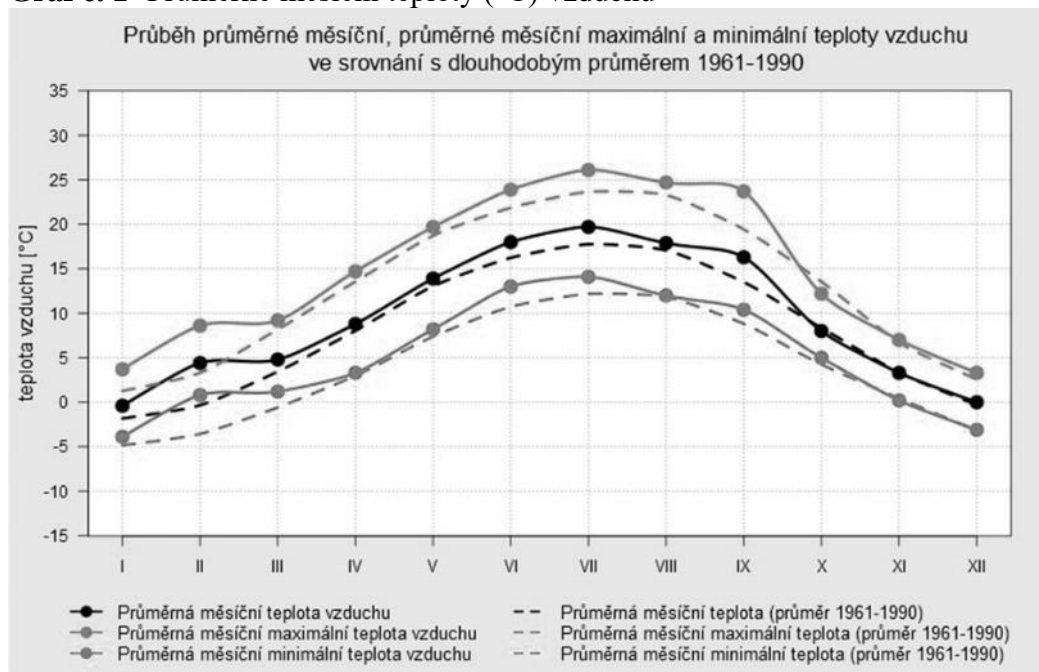
- I.** Na základě doposud zjištěných dat lze předpokládat, že průměrné hektarové výnosy fytomasy budou vyšší u druhu Szarvasi-1
- II.** Lze předpokládat, že rozdíly mezi průměrnými hodnotami spalného tepla v rámci různých intenzit hnojení nebude statisticky prokazatelný rozdíl
- III.** Z pohledu celkového srovnání potenciálních energetických zisků z jednotky plochy bude Szarvasi-1 vykazovat vyšší hodnoty a tento travní druh tak lze považovat za efektivnější

5 MATERIÁL A METODIKA

5.1 LOKALITA

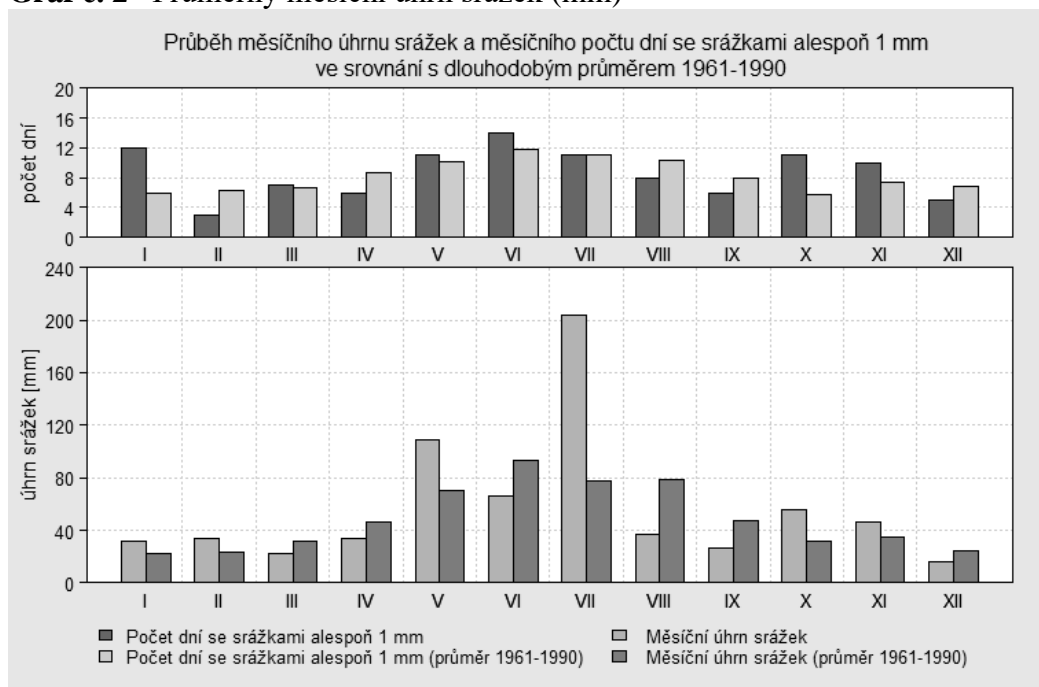
Praktická část bakalářské práce probíhala na pozemcích Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Lokalita se nachází v Českobudějovické pánvi na soutoku řek Vltavy a Malše v obilnářské výrobní oblasti s nadmořskou výškou 394 metrů. Bližší informace o klimatických podmínkách jsou znázorněny v následujících grafech (č. 1, 2). Data byla získána z meteorologické stanice Českých Budějovic (ČHMÚ).

Graf č. 1 - Průměrné měsíční teploty (°C) vzduchu



(Zdroj: CHMÚ)

Graf č. 2 - Průměrný měsíční úhrn srážek (mm)



(Zdroj: CHMÚ)

5.2 POLNÍ POKUSY

Data pro zhodnocení vycházela z již probíhajících polních pokusů na pozemku ZF JU. Jedná se o porosty sledovaných druhů trav (*Phalaris arundinacea* L. a *Elymus elongatus* subsp. *Ponticus* cv. Szarvasi-1), které slouží pro účely hodnocení jejich výnosového a energetického potenciálu a environmentálních

a ekonomických aspektů jejich pěstování. Metodika hnojení sledovaných travních druhů byla zvolena na základě běžně uplatňovaných pěstitelských technologií. Jednotlivé intenzity hnojení jsou znázorněny v tabulce č. 1.

Tabulka č. 1 - Metodika hnojení v produkčních letech ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)

	Stupeň intenzity hnojení	Produkční roky					
		Dusík (N)		Fosfor (P)		Draslík (K)	
		Čistý	Hnojivo a množství	Čistý	Hnojivo a množství	Čistý	Hnojivo a množství
Szarvasi-1	<i>Intenzivní</i>	100	SA 300, LAD 150	10	SF trojitý 62,5	30	DS 62,5
	<i>Extenzivní</i>	Nehnojeno					
	<i>Digestát</i>	100	digestát 28000	25,4	digestát 28000	167,7	digestát 28000
Lesknice rákosovitá	<i>Intenzivní</i>	100	SA 300, LAD 150	10	SF trojitý 62,5	30	DS 62,5
	<i>Extenzivní</i>	Nehnojeno					
	<i>Digestát</i>	100	digestát 28000	25,4	digestát 28000	167,7	digestát 28000

* SA – síran amonný, LAD – ledek amonný, SF trojitý – superfosfát trojitý, DS - draselná sůl

Pro účely této práce byly odběry sušiny prováděny v termínech, kdy je obsah vody ve fytomase nejnižší (viz tabulka č. 2). Jednalo se o jednofázovou seč, při které se sledoval obsah vody ve vzorku, výnosy suché hmoty na jednotku plochy a rozdíly v rámci zvolených intenzit hnojení.

5.3 LABORATORNÍ PRÁCE

Ke stanovení obsahu prvků C, H, N a S, zejména v organických látkách slouží analyzátor, který lze použít i pro analýzu některých látek anorganických. Aparát je značně univerzální a lze s ním analyzovat širokou škálu vzorků. Mezi typické vzorky analyzované na FLASH 2000 patří sloučeniny syntetizované v laboratoři, dále různá paliva (například uhlí, topné oleje, nafta, alternativní paliva, dřevo, celulóza apod.). Z látek převážně anorganického charakteru lze analyzovat půdy, písky, jíly, sedimenty atd. Přístroj FLASH 2000 je vybaven detektorem TCD a navíc i detektorem IR, který slouží ke stanovení koncentrací síry pod 100 ppm (*parts per million*). Mezi rušivé vlivy měření patří fluor. Fluor je velmi agresivní látka, která dokáže způsobit poškození jakékoliv skleněné části analyzátoru (například spalovací nebo redukční trubici), ale také může způsobit poškození sorpčně-desorpční kolony, která separuje oxid siřičitý.

5.3.1 STRUČNÝ POPIS ANALÝZY:

Navážený vzorek je spálen v proudu kyslíku, spaliny procházejí přes redukční trubici. Plynné produkty (CO₂, H₂O, N₂, SO₂) jsou unášeny nosným plynem (heliem) přes soustavu sorbčň/desorbčňních trubic, které slouží k separaci jednotlivých plynů ve směsi. Separované plyny pak prochází přes detektor TCD.

5.4 METODA VÝPOČTU

Výpočet a porovnání výsledných hodnot spalného tepla byly realizovány na základě aplikace dvou typů vzorců. Z nejčastěji používaných byl zvolen Mendělejevův vzorec a vzorec podle W. Boie. Pro stanovení hodnot výhřevnosti byl využit vzorec dle (PETŘÍKOVÁ et al. 2006).

Mendělejevův vzorec:

$$Q_s^r = [81 * C + 300 * H - 26 * (O - S)] * 4,187 \text{ [kJ/kg]} \text{ (ŠTINDL et al., 2006)}$$

$$Q_s^r = \text{Spalné teplo [kJ/kg]}$$

C = Obsah uhlíku ve vzorku (%)

H = Obsah vodíku ve vzorku (%)

O = Obsah kyslíku ve vzorku (%)

S = Obsah síry ve vzorku (%)

Vzorec podle W. Boie:

$$HHV = 0,3516 * C + 1,16225 * H - 0,1109 * O + 0,0628 * N + 0,10465 * S \text{ [MJ/kg]}$$

(CHANNIWALA, PARIKH, 2002)

HHV (*higher heating value*) = spalné teplo [MJ/kg]

C = Obsah uhlíku ve vzorku (%)

H = Obsah vodíku ve vzorku (%)

O = Obsah kyslíku ve vzorku (%)

S = Obsah síry ve vzorku (%)

Vzorec pro stanovení výhřevnosti:

$$Q_u = Q_v - 5,85 * (W + 8,94 * H) \text{ [kJ/kg]} \text{ (HUBÁČEK et al., 1962)}$$

Q_v = spalné teplo v kcal/kg

Q_u = výhřevnost v kcal/kg

W = % vody v palivu

H = % vodíku v palivu

6 VÝSLEDKY A DISKUSE

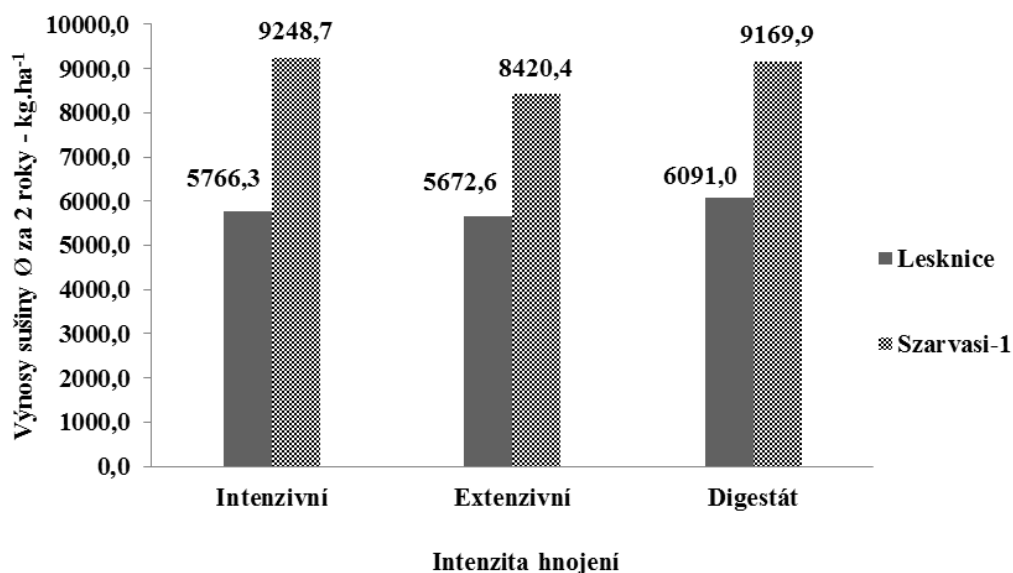
Na pozemcích Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích byly průběžně odebírány vzorky energetických trav Lesknice rákosovitá (*Phalaris arundinacea* L.) a Szarvasi-1 (*Elymus elongatus*) od doby jejich vysetí do 8. 3. 2017.

Tabulka č. 2 - Obsah sušiny při sklizni (%)

Sušina (%)	Lesknice rákosovitá		Szarvasi-1	
Extenzivní	80,26	82,85	81,02	82,76
Intenzivní	80,91	82,90	80,34	84,71
Digestát	80,60	83,91	80,00	82,41
Ø	80,59	83,22	80,45	83,29
Datum sklizně	21. 3. 2016	8. 3. 2017	21. 3. 2016	8. 3. 2017

Průměrný obsah vody ve sklizené fytomase byl 18,1 %, přičemž UŠTAK et al., (2005) uvádí, že za optimální vlhkost biomasy při sklizni se považuje rozmezí 15–20 %. Jedná se o rozhodující faktor, protože výtěžnost energie při zvýšené vlhkosti nad 20 % prudce klesá a zásadně tak ovlivňuje celkový zisk energie. Ten se však odvíjí především od samotných výnosů fytomasy (resp. sušiny) z jednotky plochy. Jedním z hlavních cílů bylo srovnání výnosových parametrů u obou vybraných druhů trav. Výnosy fytomasy v rámci sledovaných porostů i jednotlivých intenzit hnojení je zaznamenán v grafu č. 3.

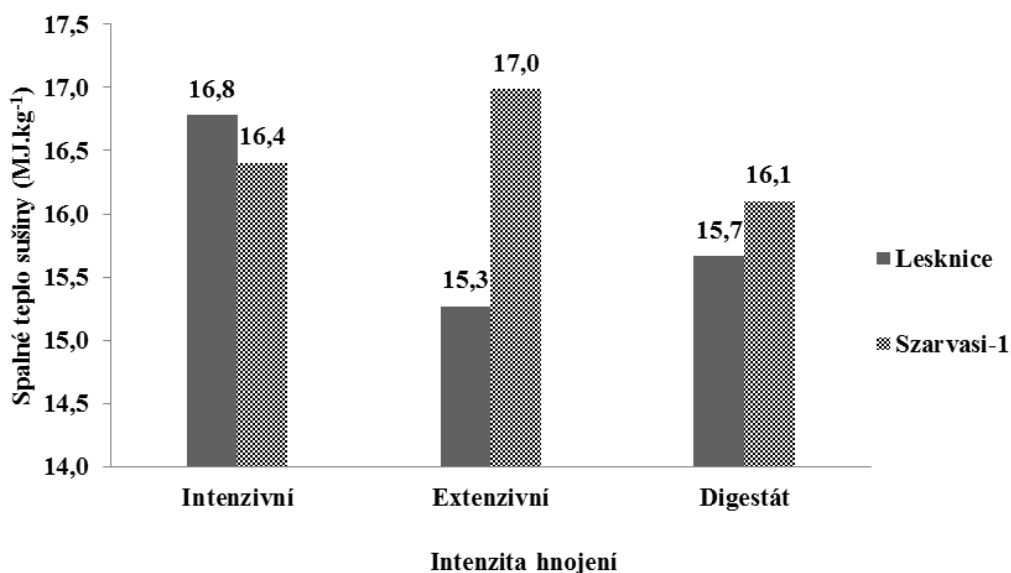
Graf č. 3 - Výnosy sušiny - Ø za 2 roky (kg.ha⁻¹)



V grafu (č. 3) jsou zaznamenány průměrné výnosy sušiny z ha z dvouletého sledování stávajících porostů. Szarvasi-1 vykazuje průměrně vyšší hodnoty. Tím se podařilo potvrdit hypotézu č. I, tedy že průměrné hektarové výnosy fytomasy budou vyšší u druhu Szarvasi-1. V rámci jednotlivých intenzit hnojení bylo největšího rozdílu (36,7 %) dosaženo u varianty hnojené minerálně (ozn. jako intenzivní). V souhrnu všech variant hnojení jde pak o rozdíl 3103,1 kg sušiny z ha. Ve všech případech se však jedná o výnosy, které jsou pod úrovní ekonomické rentability. Ta se dle názorů jednotlivých autorů pohybuje na hodnotách 12 - 15 t.ha⁻¹ sušiny. Sledované energetické trávy tedy v těchto letech nedosáhly svého výnosového potenciálu, který se pohybuje na úrovni ≥ 12 t.ha⁻¹ sušiny u lesknice rákosovité (PETŘÍKOVÁ et al., 2006 a HAVLÍČKOVÁ et al., 2007) a ≥ 15 t.ha⁻¹ u Szarvasi-1 (CSETE et al., 2011). Úroveň výnosových parametrů je značně závislá na intenzitě hnojení, ale též na půdně-klimatických podmínkách stanoviště. Především srážkové úhrny pak v rámci hodnocených ročníků zůstávaly pod průměrnými hodnoty. I tento aspekt měl výrazný vliv na dosažené výsledky.

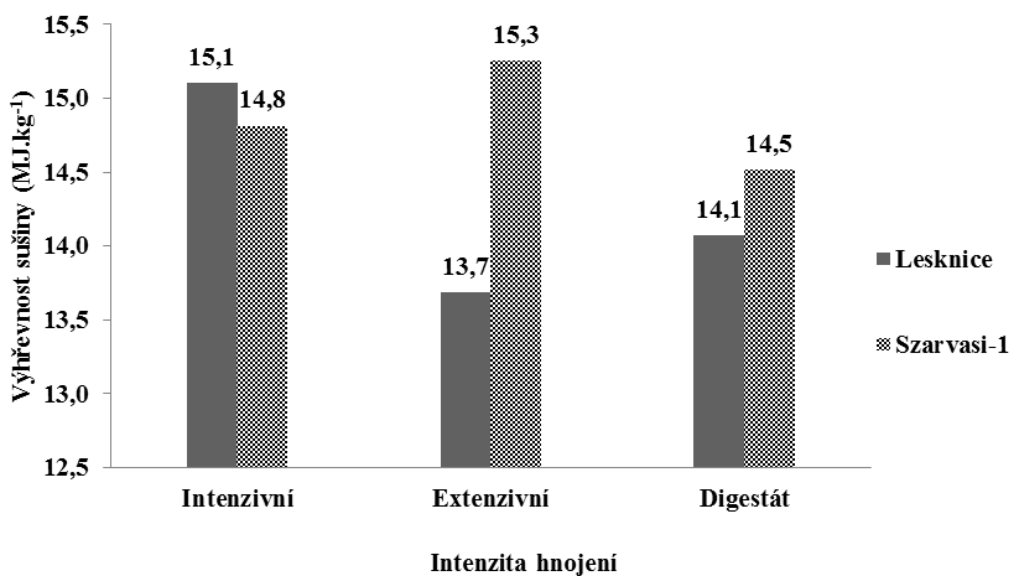
Homogenizované vzorky fytomasy pak bylo možno využít pro stanovení alementární analýzy a dle zvolených výpočtů stanovit spalné teplo (Q_s^f) a výhřevnost (Q_u). Jednotlivé hodnoty znázorněny v grafu č. 4 a č. 5.

Graf č. 4 - Spalné teplo sušiny (MJ.kg⁻¹) - dle Mendělejevova vzorce



Průměrné hodnoty spalného tepla obou travních druhů se pohybují v hodnotách 15,9 (lesknice rákosovitá) – 16,5 (Szarvasi-1) MJ.kg⁻¹, což lze vnímat jako hodnotu typickou pro rostlinný materiál (ŠTINDL et al., 2006 a PETŘÍKOVÁ et al., 2006), především trávy. I přes výsledky statistického hodnocení (viz. tabulka č. 3 a č. 4), lze konstatovat, že hodnoty spalného tepla (graf č. 4) a následně i výhřevnosti (graf č. 5) u Szarvasi-1 vykazují tendenci k průměrně vyšším číslům než u lesknice rákosovité. Průměrné hodnoty výhřevnosti obou rostlin se pohybují v rozmezí 14,3 (lesknice rákosovitá) – 14,9 (Szarvasi-1) MJ.kg⁻¹.

Graf č. 5 - Výhřevnost sušiny (MJ.kg⁻¹) - dle HUBÁČKA et al. (1962)



Tabulka č. 3 - Statistické hodnocení (Tukey HSD test)

Faktor	Spalné teplo A	Výhřevnost A	Spalné teplo B	Výhřevnost B
Lesknice r.	15,91±SD a	14,29±SD a	15,87±SD a	14,24±SD a
Szarvasi-1	16,50±SD a	14,86±SD a	16,45±SD a	14,82±SD a
Intenzivní hnojení	16,59±SD a	14,95±SD a	16,57±SD a	14,25±SD a
Nehnojeno	16,13±SD a	14,47±SD a	16,05±SD a	14,39±SD a
Hnojení digestátem	15,89±SD a	14,29±SD a	15,85±SD a	14,25±SD a
Nehnojeno	16,12±SD a	14,47±SD a	16,06±SD a	14,39±SD a
Hnojeno	16,23±SD a	14,63±SD a	16,21±SD a	14,59±SD a

* Hodnoty označené stejným písmenem nevykazují statisticky průkazné odlišnosti na hladině významnosti $p < 0,05$ (Tukey HSD test), Spalné teplo A = vzorec dle Mendělejeva, Spalné teplo B = Vzorec dle Boie, W., Výhřevnost A = vychází ze spalného tepla A, Výhřevnost B = vychází ze spalného tepla B

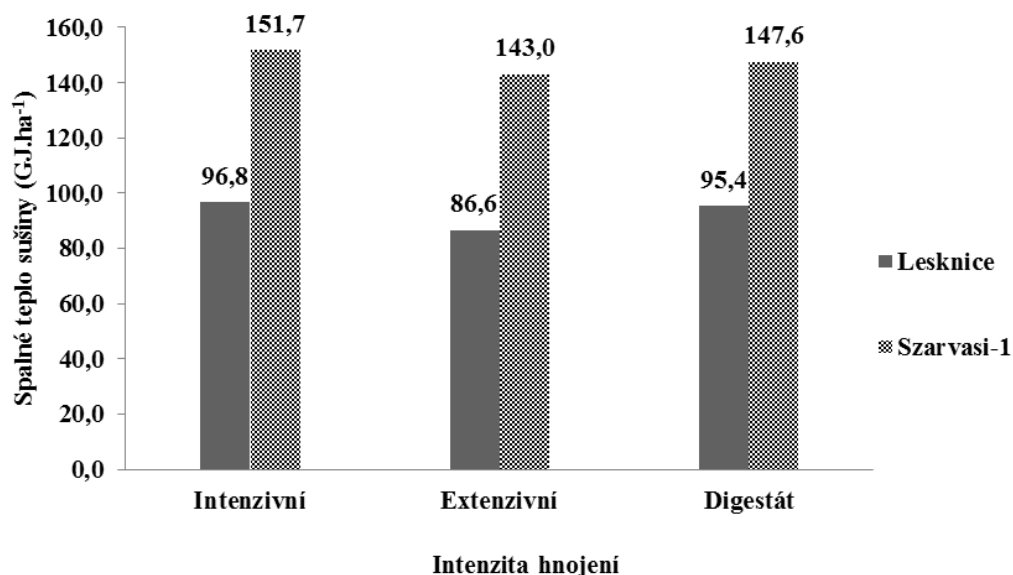
Statistickým hodnocením nebyla prokázána odlišnost na hladině významnosti $p < 0,05$ (Tukey HSD test). Tímto zjištěním lze tedy potvrdit hypotézu č. II, tedy že rozdíly mezi průměrnými hodnotami spalného tepla v rámci různých intenzit hnojení nebude statisticky prokazatelný rozdíl. Spalné teplo a výhřevnost Szarvasi-1 však vykazuje tendenci k vyšším \emptyset hodnotám.

Tabulka č. 4 - Hodnocení vlivu jednotlivých faktorů na spalné teplo (analýza variance – Anova)

Faktor	Spalné teplo A			Výhřevnost A			Spalné teplo B			Výhřevnost B		
	DF	PČ	%	DF	PČ	%	DF	PČ	%	DF	PČ	%
Druh	1	1,049	47,9 ^{ns}	1	1,003	51,0 ^{ns}	1	1,029	47,7 ^{ns}	1	0,983	50,6 ^{ns}
Varianta	2	0,521	23,8 ^{ns}	2	0,477	24,3 ^{ns}	2	0,558	25,9 ^{ns}	2	0,518	26,7 ^{ns}
Chyba	8	0,621	-	8	0,486	-	8	0,570	-	8	0,441	-

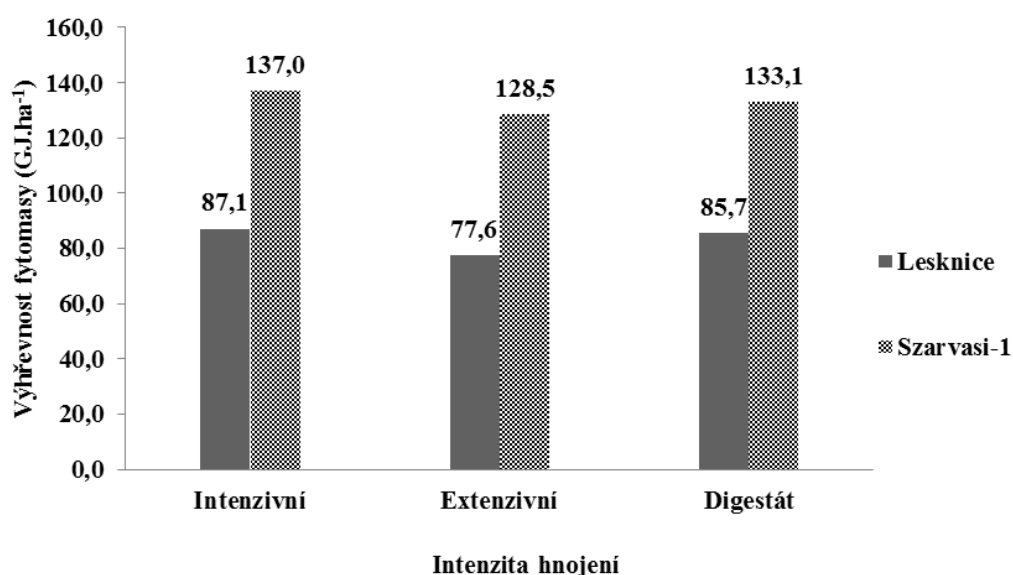
* Poznámka: * = statisticky průkazné $p < 0,05$, ^{ns} = statisticky neprůkazné

Graf č. 6 - Spalné teplo sušiny (GJ.ha⁻¹)



Prostřednictvím získaných dat z polních pokusů (výnosy fytomasy) a laboratorních analýz (elementární analýza) pak bylo možno stanovit průměrné teoretické zisky energie z jednotky plochy (ha) v rámci jednotlivých intenzit hnojení. V grafu č. 6 jsou zaznamenány průměrné hodnoty energie spalného tepla získané při sklizni sledovaných energetických trav. Szarvasi-1 rovněž zde vykazuje tendenci k vyšším energetickým ziskům. Při pěstování Szarvasi-1 lze v porovnání s lesknicí rákosovitou dosáhnout vyššího zisku energie na jednotku plochy (spalné teplo v \bar{o} o 36,9 % a výhřevnost v \bar{o} o 37,2 %).

Graf č. 7 - Výhřevnost fytomasy (GJ.ha⁻¹)



Na základě těchto výsledků lze potvrdit hypotézu č. III, a to že z pohledu celkového srovnání potenciálních energetických zisků energie z jednotky plochy bude Szarvasi-1 vykazovat vyšší hodnoty a tento travní druh tak lze považovat za obecně efektivnější.

7 ZÁVĚR

Lesknice rákosovitá je vnímána jako jedna z alternativních vytrvalých energetických rostlin, která je v současné době k těmto účelům pěstována na desítkách tisíc hektarů a to nejen v evropských podmínkách. Tomuto travnímu druhu by pak mohla postupně konkurovat jiná vytrvalá tráva - Szarvasi-1, která díky svému mnohostrannému využití (surovina pro výrobu tepla přímým spalováním, surovina pro účely bioplynových stanic, či pícninářství) představuje zajímavější variantu především pro subjekty hospodařící v zemědělsky znevýhodněných oblastech, souhrnně označovaných jako LFA.

Tato práce poukazuje na možnost zvýšení efektivity pěstování energetických rostlin pro účely přímého spalování zařazením jiné, výkonnější energetické trávy (Szarvasi-1) a to při zachování stejné pěstební technologie. Jak ukazují výsledky toto sledování, Szarvasi-1 se v porovnání s lesknicí rákosovitou jeví jako rostlina s vyšší produkcí sušiny ($8,9 : 5,8 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ - suma za dva roky) a vyšší průměrnou hodnotou spalného tepla (Q_s^r) $15,9$ (lesknice rákosovitá) – $16,5$ (Szarvasi-1) $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ sušiny i výhřevnosti (Q_u) $14,3$ (lesknice rákosovitá) – $14,9$ (Szarvasi-1) $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ sklizené hmoty. V ideálním případě by pak mohlo být u Szarvasi-1 dosaženo výnosu až 18 a více $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ suché hmoty, čímž by došlo k významnému zefektivnění jejího pěstování. Szarvasi-1 má tak potenciál k případnému nahrazování lesknice rákosovité (i jiných energetických rostlin), která byla v posledních letech jen ve Finsku pěstována pro energetické účely na téměř 70 tis. hektarech (GHICA, SAMFIRA, 2011).

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

8.1 ODBORNÁ LITERATURA

1. ALTMANN V., VACULÍK P., MIMRA M. (2010). Technika pro zpracování komunálního odpadu. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, s. 120.
2. BLAŽEJ A., KOŠÍK M. (1985). Fytomasa jako chemická surovina. Slovenská akadémia vied, Bratislava.
3. CSETE, S., FARKAS, Á., BORHIDI, A., SZALONTAI, B., SALAMON-ALBERT, É., WALCZ, I., & PÁL, R. W. (2011). Tall Wheatgrass Cultivar Szarvasi-1 (*Elymus elongatus* subsp. *Ponticus* cv. Szarvasi-1) as a Potential Energy Crop for Semi-Arid Lands of Eastren Europe. INTECH Open Access Publisher.
4. DEMIRBAS, A. (2004). Combustion characteristics of different biomass fuels. *Progress in energy and combustion science*, 30(2), s. 219-230.
5. GHICA, A., & SAMFIRA, I. (2011). Bibliographic study of genetic roces in *Phalaris arundinacea*. *Research Journal of Agricultural Science*, 43(4), s. 65-71.
6. GÜRDIL, G. A., MALAT'ÁK, J., ÇAGATAY SEIVI, K., & PINAR, Y. (2009). Biomass utilization for thermal energy. *Ama, Agricultural Mechanization in Asia, Africa & Latin America*, 11(2), s. 80.
7. HAVLÍČKOVÁ, K., WEGER, J., KONVALINA, P., MOUDRÝ, J., & STRAŠIL, Z. (2007). Zhodnocení ekonomických aspektů pěstování a využití energetických rostlin. Průhonice, Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, České Budějovice, Jihočeská univerzita, s. 92.
8. HUBÁČEK, J., KESSLER, F., LUDMILA, J., TEJNICKÝ, B. (1962). Chemie uhlí. SNTL Praha.
9. CHANNIWALA, S. A., & PARIKH, P. P. (2002). A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels. *Fuel*, 81(8), s. 1051-1063.
10. JASINSKAS, A., & ŠATEIKIS, I. (2009). Evaluation of Plant Biomass Potential and Technologies of Biomass Preparation and Utilization for Energy Purposes in Lithuania. *Rural development*, s. 327-332.

11. KÁRA, et al. (2001). Anaerobní fermentace vlhkých materiálů – výroba bioplynu. In: EKOTREND 2001 – trvale udržitelný rozvoj – Sborník z mezinárodní konference. ZFJČU. České Budějovice: 2001
12. KÁRA, J., STRAŠIL, Z., HUTLA, P., & UŠŤAK, S. (2005). Energetické rostliny: Technologie pro pěstování a využití. VÚZT Praha-Ruzyně.
13. LANDA, S. (1956). Paliva a jejich použití: celost. Vysokoškolská učebnice. 2. Dopln. uprav. vyd. Praha: SNTL, s. 362.
14. LEWANDOWSKI, I., SCURLOCK, J. M., LINDVALL, E., & CHRISTOU, M. (2003). The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy*, 25(4), s. 335-361.
15. LIBRA, M., & POULEK, V. (2007). Zdroje a využití energie. Česká zemědělská univerzita.
16. MALAŤÁK, J., & VACULÍK, P. (2008). *Biomasa pro výrobu energie*. Česká zemědělská univerzita v Praze.
17. MASTNÝ, P. (2011). Studijní podklady předmětu Malé zdroje elektrické energie. Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně.
18. MASTNÝ, P., DRÁPELA, J., MIŠÁK, S., MACHÁČEK, J., PTÁČEK, M., RADIL, L. & PAVELKA, T. (2011). Obnovitelné zdroje elektrické energie. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, s. 254.
19. MATOUŠEK, A. (2007). Výroba elektrické energie. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ústav elektroenergetiky.
20. MELDERIS, A. (1980). *Elymus L.*, In: *Flora Europaea*, Vol. 5. Alismataceae to Orchidaceae (Monocotyledones), Tutin, T.G.; Heywood, V.H.; Burges, N.A.; Moore, D.M.; Valentine, D.H.; Walters, S.M. Webb, D.A., (Eds.), pp. 192-199, Cambridge University Press, Cambridge, England
21. MOUDRÝ, J., & STRAŠIL, Z. (1998). Energetické plodiny v ekologickém zemědělství. Spolek poradců.
22. MOUDRÝ, J., & STRAŠIL, Z. (1999). Pěstování alternativních plodin. Cultivation of alternative crops. 1st Ed. Jihočeská univerzita, České Budějovice.
23. MOUTINHO, V., MADALENO, M., & Silva, P. M. (2016). Which factors drive CO₂ emissions in EU-15? Decomposition and innovative accounting. *Energy Efficiency*, 9(5), s. 1087-1113.

24. NICOLETTI, G., ARCURI, N., NICOLETTI, G., & BRUNO, R. (2015). A technical and environmental comparison between hydrogen and some fossil fuels. *Energy Conversion and Management*, 89, s. 205-213.
25. PANWAR, N. L., KAUSHIK, S. C., & KOTHARI, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), s. 1513-1524.
26. PASTOREK, Z., KÁRA, J., & JEVIČ, P. (2004). Biomasa, obnovitelný zdroj energie. Praha, FCC Public, s. 286.
27. PETŘÍKOVÁ, V. et al. (2006). Energetické plodiny. Praha: ProfiPress, s.r.o.
28. SHENG, C., & AZEVEDO, J. L. T. (2005). Estimating the higher heating value of biomass fuels from basic analysis data. *Biomass and Bioenergy*, 28(5), s. 499-507.
29. SCHRABAUER, J. (2010). Trockentolerante, perennierende Gräserarten für eine Futternutzung bzw. energetische Verwertung im semihumiden und semiariden Produktionsgebiet. Wien.
30. SOUČKOVÁ, H., & MOUDRÝ, J. (2006). Nepotravinářské využití fytomasy. Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta.
31. STRAKOVÁ, M., STRAKA, J., MICHALÍKOVÁ, L., PLEVOVÁ, K.: Kapesní atlas trav. Rousínov, Ministerstvo zemědělství, s. 46.
32. STRAŠIL, Z. (2011). Trávy jako energetická surovina: certifikovaná metodika pro praxi. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 11, 36.
33. ŠNOBL, J., et al. (2004). Rostlinná výroba IV.: Chmel, len, konopí, využití biomasy k energetickým účelům. 1. vyd. Praha: ČZU v Praze, s. 119.
34. ŠTINDL, P., KOLÁŘ, L., KUŽEL, S. (2006). Spalné teplo biomasy a jeho výpočet z elementárního složení. In: Agroregion 2006 – Zvyšování konkurenceschopnosti v zemědělství (Půda – základ konkurenceschopnosti zemědělství), České Budějovice, s. 136-140.
35. UŠŤAK, S., HOLOUBEK, Z., HONZÍK, R., & VÁŇA, V. (2012). Provozní ověření pěstování chřastice rákosovité jako perspektivní energetické plodiny na méně úrodných půdách.
36. WEBER, E. (2003). Invasive plant species of the world: a reference guide to environmental weeds. CABI publishing., 560 s.
37. ZÁKON č. 165 ze dne 31. ledna 2012 o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. In: Sbírka zákonů České Republiky. 2012.

38. ZÁKON č. 17 ze dne 5. prosince 1991 o ochraně životního prostředí. In: Sbíрка zákonů České Republiky. 1992.

8.2 INTERNETOVÉ ZDROJE

1. BIKAZUGI MEZŐGAZDASÁGI NONPROFIT KFT. "*Szarvasi-1*" *energiafű* [online]. 2004 [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <http://www.energiafu.hu/nemesit.html>
2. ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD [online]. Jihlava, 2017 [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/>
3. GRUNEWALD, J. Ungarisches Energiegras: Riesenweizengras/ Agropyron elongatum. Energiepflanzen für Biogasanlagen: Sachsen. 2012,č.1,s.47, Dostupné z:http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/f/n/fnr_brosch.energiepflanzen-sachsen.pdf
4. HOLUB, P.: *Szarvasy* [online]. 2013 [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <http://www.holub-consulting.de/Pflanzensorten.html?Szarvasy> .
5. HUTLA, P. Chrastice rákosovitá - pěstování a možnosti využití. *Biom.cz* [online]. 2004-03-10 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: [www:<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/chrastice-rakosovita-pestovani-a-moznosti-vyuziti>](http://biom.cz/cz/odborne-clanky/chrastice-rakosovita-pestovani-a-moznosti-vyuziti).
6. JANOWSZKY, J., JANOWSZKY, Z.: "*Szarvasi-1*" ENERGIE GRASS [online]. 2002 [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: http://www.energiafu.hu/nemesit_de.html
7. KOLONIČNÝ, J. Emise při spalování biomasy. *Biom.cz* [online]. 2010-06-07 [cit. 2017-03-17]. Dostupné z [www:<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/emise-pri-spalovani-biomasy-2>](http://biom.cz/cz/odborne-clanky/emise-pri-spalovani-biomasy-2).
8. MUŽÍK, O., SLEJŠKA, A. Možnosti využití anaerobní fermentace pro zpracování zbytkové biomasy. *Biom.cz* [online]. 2003-07-14 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: [www:<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-anaerobni-fermentace-pro-zpracovani-zbytkove-biomasy>](http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-anaerobni-fermentace-pro-zpracovani-zbytkove-biomasy).
9. POHOŘELÝ, M. a JEREMIÁŠ, M. (2010). Zplyňování biomasy – možnosti uplatnění: Výsledky výzkumu, vývoje a inovací pro obnovitelné zdroje energie (OZE 2010).
10. PORTÁL ČHMÚ [online]. [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data#>
11. STUDENTÍK, J. a SVITAVSKÝ, M. Energie větru, vody, biomasy [online]. Brno, 2016 [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/18.html>.

12. SVĚTLÍK, M. Biomasa je součástí energetického mixu. Biom.cz [online]. 2001- [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-je-soucasti-energetickeho-mixu>
13. UŠŤAK, S. Netradiční energetické rostliny perspektivní pro pěstování v podmínkách mírného klimatického pásma. Biom.cz [online]. 2006-06-01 [cit. 2017-03-22]. Dostupné z [www:<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/netradicni-energeticke-rostliny-perspektivni-pro-pestovani-v-podminkach-mirneho-klimatickeho-pasma>](http://biom.cz/cz/odborne-clanky/netradicni-energeticke-rostliny-perspektivni-pro-pestovani-v-podminkach-mirneho-klimatickeho-pasma).

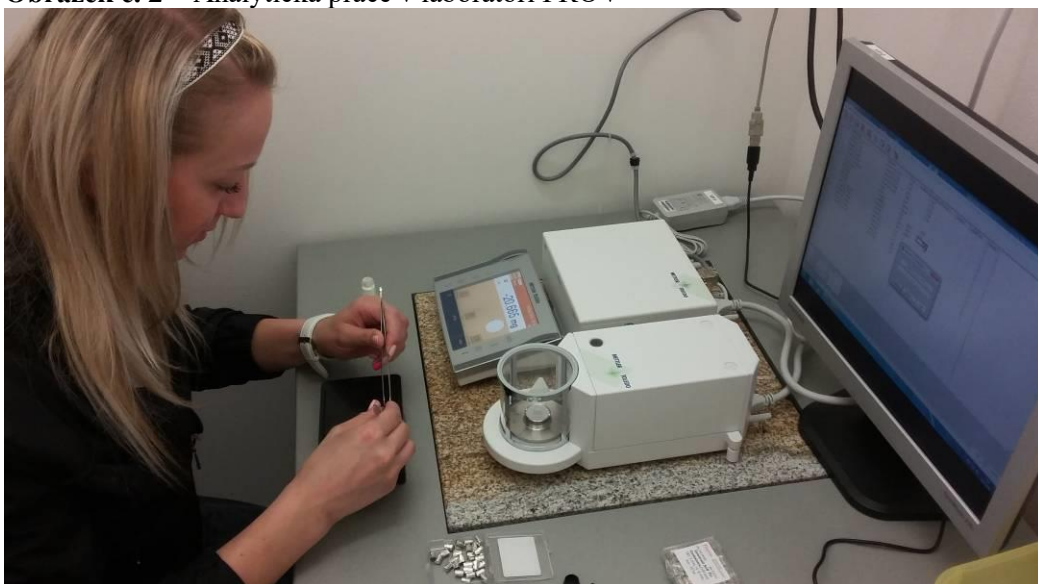
9 PŘÍLOHY

Obrázek č. 1 - Průběžný odběr vzorků sušiny v referenčním porostu na ZF JU



autor Aneta Sedláková

Obrázek č. 2 – Analytická práce v laboratoři FROV



autor Aneta Sedláková

Obrázek č. 3 - Univerzální kontejnery pro analýzu vzorků



autor Aneta Sedláková

Obrázek č. 4 - Elementární analyzátor FLASH 2000



autor Aneta Sedláková

Obrázek č. 5 - Kalibrační BBOT Standard



autor Aneta Sedláková

Obrázek č. 6 - Rotační zásobník vzorků



autor Aneta Sedláková

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1 - Metodika hnojení v produkčních letech ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	23
Tabulka č. 2 - Obsah sušiny při sklizni (%).....	25
Tabulka č. 3 - Statistické hodnocení (Tukey HSD test)	28
Tabulka č. 4 - Hodnocení vlivu jednotlivých faktorů na spalné teplo (analýza variance – Anova)	28

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1 -Průměrné měsíční teploty ($^{\circ}\text{C}$) vzduchu.....	22
Graf č. 2 - Průměrný měsíční úhrn srážek (mm).....	22
Graf č. 3 - Výnosy sušiny - Ø za 2 roky ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	26
Graf č. 4 - Spalné teplo sušiny ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) - dle Mendělejevova vzorce.....	27
Graf č. 5 - Výhřevnost sušiny ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) - dle HUBÁČKA et al. (1962)	27
Graf č. 6 - Spalné teplo sušiny ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$)	29
Graf č. 7 - Výhřevnost fytomasy ($\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$).....	29

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1 - Průběžný odběr vzorků sušiny v referenčním porostu na ZF JU	37
Obrázek č. 2 – Analytická práce v laboratoři FROV	37
Obrázek č. 3 - Univerzální kontejnery pro analýzu vzorků	38
Obrázek č. 4 - Elementární analyzátor FLASH 2000	38
Obrázek č. 5 - Kalibrační BBOT Standard	39
Obrázek č. 6 - Rotační zásobník vzorků	39