

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA

Fakulta : agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra: pícinářství a trávníkářství

Diplomová práce:

**Využití biomasy trvalých travních porostů k přímému  
spalování**

**Vedoucí práce: Fuksa Pavel, Ing. Ph.D.**

**Diplomant :Daniela Hajšmanová**

## **Abstrakt :**

Cílem mé diplomové práce bylo zjistit, zda na výhřevnost biomasy trvalých travních porostů má vliv různá úroveň hnojení.

Pro tuto práci byly odebrány vzorky trvalých travních porostů ze tří sečí, které se konaly v roce 2012 na pokusném pozemku v lokalitě Čeríkovice, okres Benešov a obsahovaly šest různých variant hnojení.

Po odběru, usušení a nadrcení rostlinné hmoty bylo na adiabatickém kalorimetrickém systému IKA C 5000 control stanoveno spalné teplo jednotlivých vzorků. Následně byla vypočtena výhřevnost dle norem ČSN ISO 1928. Ze zjištěných hodnot výhřevnosti bylo analýzou rozptylu zjištěno, že různá úroveň hnojení má vliv na výši výhřevnosti a to zejména u varianty hnojení N150P40K100, kdy se výhřevnost oproti nehnojené variantě zvedla až o 5%.

Dále bylo vypočteno celkové množství energie vyprodukované na jednotku plochy dle úrovně hnojení a byla vypočítána rentabilita při jejich využití k přímému spalování. V tomto případě se došlo k závěru, že nejrentabilnější je díky nízkým vstupům nehnojená varianta.

**Klíčová slova:** Luční porost, energie, spalné teplo, výhřevnost, kalorimetrie

**Abstract:**

The aim of my thesis was to determine whether the calorific value of the biomass of grassland has the effect of different levels of fertilization .

For this work , samples were taken grassland of the three cuts that took place in 2012 at the experimental plot in Čerčkovice , Benesov and contained six different variants of fertilization .

After collection , drying aa crushing plant matter was on the adiabatic calorimetric system IKA C 5000 control specified calorific values of individual samples. Subsequently, the calorific value was calculated according to the standards ISO 1928. From the obtained values of calorific value analysis of variance was found that different levels of fertilization influences the amount of calorific value , especially at fertilization variants N150P40K100 when the calorific value compared to unfertilized variant rose by 5 %.

Furthermore, it has been calculated the total amount of energy produced per unit area according to the level and fertilization was calculated profitability of their use for direct combustion . In this case , it was concluded that the most profitable thanks to the low input unfertilized variant .

**Keywords :** grassland , energy, heat of combustion , calorific value, calorimetry

**Prohlášení :**

Prohlašuji, že jsem svou diplomou práci „Využití trvalých travních porostů k přímému spalování“ vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

**V.....dne.....**

**Podpis: .....**

**Poděkování:**

Ráda bych touto cestou chtěla poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Pavlu Fuksovi Ph.D za obětavou pomoc a strávený čas. Dále celému kolektivu katedry pícninářství a trávníkářství za možnost používání laboratoře a vřelý přístup při řešení mých problémů. Také bych chtěla vyjádřit poděkování svým nejbližším za podporu a trpělivost.



## Obsah

1.Úvod.....	8
2.Literární rešerže.....	9
2.1 Biomasa.....	9
2.1.1 Vlastnosti biomasy.....	10
2.1.2 Využití biomasy.....	13
2.2 Charakteristika TTP.....	13
2.2.1 Agrotechnika trvalých travních porostů.....	15
2.3 Ovlivnění vlastností biomasy trvalých travních porostů.....	18
2.4 Příprava biomasy pro energetické účely.....	20
2.5 Spalování .....	20
2.5.1 Popis spalovacího procesu.....	21
2.5.2 Technologie spalování.....	23
2.5.3 Stanovení energie (calorimetrie).....	23
2.5.3.1 Spalné teplo, výhřevnost.....	24
3. Materiál a metody.....	26
3.1 Cíl práce.....	26
3.2 Popis pokusné lokality.....	26
3.3 Založení pokusu.....	26
3.4 Aplikace hnojiv.....	28
3.5 Sklizeň porostu.....	28
3.6 Metodika.....	28
4.Výsledky.....	29
5.Diskuze.....	42
6.Závěr.....	44
7.Seznam literatury.....	47

# 1. Úvod

Od doby kdy první lidé začali využívat oheň, lze hovořit o využití biomasy, vzhledem k tomu, že se pro topení používalo dřevo. Dá se tedy konstatovat, že biomasa je ve své podstatě nejstarším zdrojem energie, který člověk využívá a ještě před dvěma sty lety to byl zdroj nejdůležitější. Během 19. a 20. století se ve vyspělých zemích stalo dominantní využití fosilních paliv a biomasa byla upozaděna. V současné době se ve všech pádech skloňuje v energetice využití obnovitelných zdrojů. To předznamenalo také návrat k vyššímu využívání biomasy, jako obnovitelného zdroje energie.

Biomasa jako zdroj energie je odpovědí na několik problémů. Většina vyspělých států řeší problém nadvýroby potravin a tím i smysluplné využití zemědělské půdy. Tímto způsobem se zužitkují jak odpady ze zemědělské výroby, ale vhodné zemědělské plochy lze také využívat pro pěstování energetických rostlin. Při útlumu chovu dobytka je biomasa řešením i pro plochy dříve využívané k pastvě. Pro energetiku je biomasa zajímavým zdrojem, který je na rozdíl od větrné či sluneční energie regulovatelný a má potenciál nahradit fosilní paliva. Dále je z hlediska znečištění obzvláště neutrální v produkci CO<sub>2</sub>. Sice uvolňuje při energetickém využití CO<sub>2</sub> a obsahuje zanedbatelné množství síry, ale je to stejné množství, které rostliny přijaly a asimilovaly v době svého růstu.

V současné době se jako zdroj biomasy do popředí dostávají i trvalé travní porosty. Jejich výměra za posledních dvacet let vzrostla a dnes je jejich rozloha téměř milion hektarů. V našich zeměpisných podmínkách jsou trvalé travní porosty nejen důležitým prvkem hospodaření na půdě, ale také představují významný krajinný prvek. Aby trvalé travní porosty plnily svoji funkci je nutné jejich pravidelné využívání a obhospodařování. Pokud by se tyto travní porosty ponechaly vlastnímu vývoji, většina luk a pastvin by podlehlá přirozené postupné regresivní sukcesi a přeměnila se po nějaké době v lesní společenstvo. Stálé obhospodařování travních porostů je proto nutné k zachování celkové diverzity a k udržení jejich nezastupitelných funkcí v krajině. Bohužel dnes, kdy se neustále snižují stavy dobytka a není tedy potřeba využívat travní porosty k původnímu účelu – jako pastviny, je nutné najít pro travní porosty jiné využití. Proto se mimoprodukčním funkcím těchto porostů věnuje pozornost již více než desetiletí.

Biomasa travních porostů se v našich podmínkách ukazuje jako slibný obnovitelný zdroj využitelný pro energetické účely. Tato diplomová práce je věnována vhodnosti využití biomasy trvalých travních porostů k přímému spalování.



## 2. Literární rešerše

### 2.1 Biomasa

Pojem biomasa označuje hmotu z organického materiálu (Quaschnig, 2005). Za biomasu v užším pojetí lze považovat organickou hmotu vytvořenou rostlinami na bázi fotosyntetické konverze sluneční energie. Pro účely bioenergetiky je vhodnější definicí substance biologického původu, zahrnující rostlinnou biomasu pěstovanou na půdě, hydroponicky nebo na vodních plochách, živočišnou biomasu, vedlejší organické produkty a organické odpady (Šnobl, 2004). Biomasa, která je pouze rostlinného původu se nazývá fytomasa (Petříková, 2004).

V souvislosti s využíváním energetické biomasy se rozumí rostlinnou biomasou především dřevo a různorodý dřevní odpad, také jiné energetické rostliny vhodné pro spalování v různých topeništích, dále zemědělské produkty a jejich zbytky nebo cíleně pěstované energetické rostliny (Celjak, 2008).

Biomasu lze využívat jako zdroj tepla pro vytápění, vaření a ohřev vody. Dále je biomasa zdrojem energie pro dopravní prostředky, pro výrobu elektřiny, a také ji lze využít coby surovinu pro průmysl (Murtinger, Beranovský, 2006).

Na každou rostlinu lze pohlížet jako na budoucí zdroj energetické biomasy. Je v podstatě jedno, zda se jedná o tzv. rychle rostoucí topol, ovocný strom, slámu nebo travní poroty. I na mnohé zemědělské plodiny lze také pohlížet jako na energetickou rostlinu. Dokonce legislativa v podobě Přílohy k nařízení vlády č. 80/2007 Sb., o stanovení některých podmínek poskytování platby pro pěstování energetických plodin v platném znění sděluje, které plodiny lze využít pro energii a často dnes nastává situace, že energetickým účelům biomasy se dává přednost před potravinářskými (Pastorek et al., 2004).

Do biomasy určené k energetickému využití se vkládají celosvětově naděje, že se stane dominantním alternativním obnovitelným energetickým zdrojem, který do budoucna nahradí podstatnou část neobnovitelných zdrojů energie z fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn). Odhadovaná roční celosvětová produkce energeticky využitelné biomasy převyšuje svým energetickým potenciálem téměř desetinásobek ročního objemu produkce ropy a zemního plynu (Šnobl, 2004).

V roce 2003 se biomasa podílela 10,6 % na světových primárních zdrojích energie, což je 79,9 % ze všech obnovitelných zdrojů. Například v Německu roku 2000 nedosahoval podíl biomasy na energetickém mixu ani 3 %. V současné době je to již 10 %. Ovšem i v současné době existují země jako například Mozambik či Etiopie, které svou energetickou potřebu

pokrývají z více než 90 % tzv. tradiční biomasou (Quaschnig, 2005). Na tom se však podílí převážně tradiční a méně efektivní způsoby využití přímého spalování (Weger, 2009).

Česká republika se v roce 2004 podílela v rámci všech primárních energetických zdrojů přibližně jen necelými 3 % obnovitelných zdrojů. V té době bylo rozhodnuto, že do r. 2030 se obnovitelné zdroje budou na úhrnné spotřebě primárních energetických podílet zhruba 15,7 % a biomasa by měla pokrývat přibližně  $\frac{3}{4}$  tohoto podílu. Začátkem roku 2011 ministerstvo zemědělství rozhodlo o aktualizaci Akčního plánu biomasy (APB) na období 2012 až 2020. Celkový odhad energetického potenciálu biomasy byl v APB stanoven na 168 – 226 PJ. Tomu odpovídá zemědělská plocha celkem 680 tisíc ha orné půdy a 440 tisíc ha trvalých travních porostů (Světlík, 2013).

### **2.1.1 Vlastnosti biomasy**

Praktické využití biomasy pro energetické účely a surovinové využití je spojeno hlavně s kolísáním její kvality, protože jednak fáze růstu ovlivňuje chemické vlastnosti a fáze úpravy má vliv na fyzikální vlastnosti produktů. Biomasa má tedy několik vlastností, kterými se liší od běžně užívaných paliv (Odchodek, 2013).

Vlastnosti biomasy pro spalování se hodnotí podle stejných fyzikálních a chemických kritérií jako běžná tuhá paliva a to jsou - výhřevnost, spalné teplo, měrná hmotnost, údaje z hrubého rozboru, z prvkového rozboru a údaje o vlastnostech popelovin (např. Součková, Moudrý, 2006; Jevič, 2008; Pastorek et al., 2004). Jednou z nejdůležitějších vlastností je obsah vody. Většinou je nutné před spalováním biomasu vysušit, protože spalování vlhkého paliva jednak snižuje účinnost spalovacího zařízení a také může zkracovat jeho životnost (Janásek, 2005).

Výhřevnost dřeva je srovnatelná s hnědým uhlím. U rostlinných paliv však kolísá podle druhu a vlhkosti, na kterou jsou tato paliva citlivá. Čerstvě vytěžené dřevo má relativní vlhkost až 60 %, dobře proschlé dřevo na vzduchu má relativní vlhkost cca 20 % což je doporučená vlhkost pro spalování (pod střechem sníží svůj obsah vody na 20 % za půl až jeden rok). Dřevěné brikety mohou mít relativní vlhkost od 3 do 10 %, podle kvality lisování. Pro spalování štěpek je optimální vlhkost 30–35 %, pro slámu je možná vlhkost do 16 %, když optimum je okolo 10 %. Při vlhkosti nižší má hoření explozivní charakter a mnoho energie uniká s kouřovými plyny. Při vyšší vlhkosti se mnoho energie spotřebuje na její vypaření a spalování je nedokonalé (MŽP, 2013).

Porovnání výhřevnosti tradičních fosilních paliv a biomasy jsou zobrazeny v následujících tabulkách 1 a 2

**Tab. 1 Výhřevnost paliv - průměrná** (Zdroj: ekowatt.cz, 2007)

Palivo	Výhřevnost (MJ/kg)
Krbové dřevo	13,2
Dřevěné brikety	16,2
Rašelinové brikety	15,7
Uhelné brikety	19,0
Koks	26,8
Černé uhlí	24,2
Hnědé uhlí – české	18,0
Hnědé uhlí - polské	11,4
LTO	42,7
Zemní plyn	32,0

**Tab.2 Kvalitativní parametry fytohmasy určené pro spalování** (Zdroj: ekowatt.cz, 2007)

Druh paliva	Obsah vody	Výhřevnost	Měrné hmotnosti		
	(%)	(MJ/kg)	(kg/m <sup>3</sup> ) = (kg/plm)	(kg/prm)	(kg/prms)
Listnaté dřevo	15	14,605	678	475	278
Jehličnaté dřevo	15	15,584	486	340	199
Borovice	20	18,400	517	362	212
Vrba	20	16,900			
Olše	20	16,700			
Habr	20	16,700			
Akát	20	16,300			
Dub	20	15,900	685	480	281
Jedle	20	15,900			
Jasan	20	15,700			
Buk	20	15,500	670	469	275
Smrk	20	15,300	455	319	187
Bříza	20	15,000			
Modřín	20	15,000			
Topol	20	12,900			
Dřevní štěpka	30	12,180			210
Sláma obilovin	10	15,490		120	(balíky)
Sláma kukuřice	10	14,400		100	(balíky)
Lněné stonky	10	16,900		140	(balíky)
Sláma řepky	10	16,000		100	(balíky)

plm - plnometr = m<sup>3</sup>

prm - prostorový metr = m<sup>3</sup> p. o. (prostorového objemu); 1 prm = 0,6 až 0,7 plm

prms - prostorový metr sypaný; 1 prms = cca 0,4 plm

V biomase obsažená prchavá hořlavina hoří v horních partiích spalovací komory, je tedy třeba přivést sekundární vzduch a zajistit jeho dobré promíchání s plynným podílem. Prchlivý podíl se pohybuje od 70 do 85%. Některé druhy biomasy mají nízký bod měknutí popelovin (800°C až 900°C), je proto nebezpečí nalepování a spékání popelovin na roštu či keramických tělesech ve spalovací komoře (Odchodek et al., 2013). Spékání popelovin lze do jisté míry zabránit slisováním výchozí suroviny pomocí peletování, když tuto vlastnost způsobuje velký podíl sloučenin alkalických kovů (Moskalík et al., 2008).

Dalším charakteristickým znakem biomasy je její prvkové složení. Biomasa obecně má cca 50%C, 43%O, a 6%H v hořlavině. Téměř neobsahuje síru, v některých případech obsahuje chlór, fluór, draslík a těžké kovy. Tyto prvky nepříznivě působí na životní prostředí a některé z nich mohou způsobovat korozi částí spalovacích zařízení (Ochodek et al., 2006).

**Tab.3 Základní složení fosilních paliv a biopaliv (%)** (Zdroj: Pastorek Z. et al., 2004)

Palivo	Rozmez í výhřevn osti	Podíl prchavé hořlaviny	Obsah popelovin	Vlhkost	Elementární složení				
					C	H	O	N	S
Obilní sláma	min.	70	3,5	12,0	43,9	5,4	38,0	0,3	0,05
	max.	82	6,5	25,0	48,0	6,4	43,3	0,7	0,2
Obiloviny	min.	76	3,0	12,0	45,0	6,0	39,5	1,0	0,09
Sláma + zrno	max.	79	5,6	25,0	46,6	6,9	42,6	1,8	0,2
Miscantus	min.	74	2,5	12,0	45,0	5,5	36,3	0,5	0,05
Sloní tráva	max.	79	8,0	40,0	49,0	6,4	41,3	1,7	0,3
Seno	min.	70	4,2	15,0	45,0	6,0	38,8	0,8	0,08
	max.	75	5,8	25,0	48,6	6,6	44,3	1,1	1,12
Dřevo	min.	70	0,2	10,0	45,0	5,3	41,4	0,1	0,02
	max.	85	3,0	60,0	52,0	6,5	46,0	1,7	0,3
Hnědé uhlí	min.	20	3,0	10,0	27,5	2,5	12,0	0,3	0,5
	max.	55	33,0	30,0	64,0	5,8	33,0	1,5	6,0
Černé uhlí	min.	10	3,7	10,0	65,0	2,8	5,0	0,9	0,5
	max.	40	17,0	30,0	84,0	5,0	9,1	2,0	1,5
Koks	min.	4	3,0	5,0	65,0	1,0	1,0	0,1	0,1
	max.	13	15,0	15,0	90,0	2,0	2,0	0,5	0,5
Řepkový olej	min.	100	0	do 0,5	77,0	12,0	11,0	0,1	0
Etanol		100	0	do 2,0	52,0	13,0	25,0	0	0
LTO		100	do 0,5	do 0,5	86,0	13,0	0,25	0,25	0,3
Zemní plyn	min.	100	0	do 0,5	19,0	80	-	0,2	0

### 2.1.2 Využití biomasy

Způsob získávání energie z chemických vazeb v biomase velmi záleží na chemických a fyzikálních vlastnostech dané biomasy. V praxi převládají suché procesy, kdy lze energii z biomasy získávat termochemickou přeměnou, tedy spalováním. Hodnota 50 % sušiny je přibližná hranice mezi mokřými procesy a suchými procesy. Výhřevnost je dána množstvím tzv. hořlaviny (organická část bez vody a popelovin, směs hořlavých uhlovodíků - celulózy, hemicelulózy a ligninu). Biomasa je podle druhu spalována přímo, nebo jsou spalovány kapalné či plynné produkty jejího zpracování. Od toho se odvíjejí základní technologie zpracování a přípravy ke spalování (např. Cenek et al., 2001; Pastorek et al., 2004):

- termochemická přeměna (suché procesy)  
pyrolýza (produkce plynu, oleje), zplyňování (produkce plynu),
- biochemická přeměna (mokré procesy)  
fermentace, alkoholové kvašení (produkce etanolu), anaerobní vyhnívání, metanové kvašení (produkce bioplynu),
- mechanickochemická přeměna  
lisování olejů (produkce kapalných paliv, oleje), esterifikace surových bio-olejů (výroba bionafty a přírodních maziv), štípaní, drcení, lisování, peletace, mletí (výroba pevných paliv).

## 2.2 Charakteristika TTP

Během posledních dvaceti let lze vyzorovat v Evropě a Severní Americe zvyšování zájmu o travní porosty jako zdroje pro výrobu bioenergie, protože byl stanoven význačný energetický potenciál travních porostů. Těžiště zájmu leží na vytrvalých energetických trávách, jako je proso prutnaté, chrastice rákosovitá, ozdobnice čínská nebo čínský rákos (např. Hohenstein a Wright, 1994; Xiong et al., 2008).

Travní porosty jsou zastoupeny ve všech vegetačních pásmech, od tropických oblastí až po arktické. Také se uplatňují od nejnižších nadmořských výšek až do vysokohorských poloh, kde přesahují hranici lesa. Z hlediska zemědělství patří mezi travní porosty louky, pastviny a dočasné travní porosty. Po celém světě je to velmi významný způsob využití půdy, neboť louky a pastviny na Zemi pokrývají asi 3200 miliónů hektarů, tj. 2/3 rozlohy zemědělské půdy. FAOSTAT v roce 2008 uváděl, že travní porosty tvoří 26 % z celkové rozlohy veškeré

půdy, přičemž nejdůležitější funkcí těchto porostů je zdroj potravy přežvýkavců. Jako další funkce lze uvést ekologické funkce, které zahrnují ukládání uhlíku, ochranu půdy před erozí, ochranu podzemních vod. Dále trvalé travní porosty tvoří podstatnou část kulturní krajiny, kterou lze využívat k rekreaci a cestovnímu ruchu, což přispívá k rozvoji venkova (FAOSTAT, 2013).

Trvalý travní porost (TTP) je charakterizován jako trvalé, smíšené společenstvo početných jednoděložných a dvouděložných druhů, jehož druhová skladba je funkcí komplexu ekologických faktorů. Z trvalého charakteru travních porostů vyplývá, že není nutné každoroční zpracování půdy, setí apod. Travní porosty využívají celé vegetační období k fotosyntéze a k tvorbě výnosu, což má zvláštní význam ve vyšších polohách s kratší vegetační dobou (Šantrůček a kol., 2001). Trvalé travní porosty lze také definovat jako půdu používanou po více než pět let pro zelené pícniny, ať už se pěstují nebo jsou volně rostoucí (FAOSTAT, 2013).

Na území našeho státu TTP nejsou primární rostlinnou formací s výjimkou holin a fragmentů stepních porostů. Trvalé travní porosty v průběhu rozvoje zemědělské výroby ustupovaly ve prospěch orné půdy. Od roku 1991 jejich výměra rostla a v roce 2009 činila výměra TTP téměř milion ha (Fuksa et al., 2011).

V TTP za příznivých podmínek dominují trávy. Druhové složení má velký význam jak pro zajištění produkčních možností ale také pro způsob a intenzitu obhospodařování. Podle vzniku se rozdělují TTP na původní, přírodní a seté (Šantrůček a kol., 2001; Soussana et al., 2007). Výnosová variabilita je velmi široká (1 – 15 t/ha) vzhledem k ekologickým podmínkám. Výnosy sušiny píce z luk se pohybují kolem 3 – 4,5 t/ha a píce pastvin asi 1,5 t/ha, což je u spásaných porostů dáno nepřesně převážně v důsledku odhadů (Šroller a kol., 1997).

### **Původní travní porosty**

jsou trvalá společenstva, která se vyvinula na stanovištích vylučují existenci lesa. Jsou botanickou zvláštností a jejich zemědělský význam je omezený (Šantrůček et al., 2001).

### **Přírodní (přírozené) travní porosty**

jsou trvalá společenstva vzniklá samozatravněním po určitém zásahu člověka do lesního společenstva, které se udržují pravidelným využíváním (sečením, pastvou nebo v kombinaci), znemožňujícím samovolné zalesnění. Druhové složení je výrazně ovlivněno činností člověka. Podle intenzity obhospodařování (hnojení, ošetřování, využívání) mohou být nekulturní, polokulturní nebo kulturní. Základním společným znakem přírodních porostů je, že jejich druhové složení je v relativní rovnováze s komplexem stanovištních podmínek, které se

vytvořily dlouhodobým vývojem na daném stanovišti (Šantrůček et al., 2001).

### **Seté (uměle založené) travní porosty**

vznikají vysetím směsí kulturních trav a jetelovin za účelem dočasného až trvalého využívání.

Druhové složení výrazně ovlivňuje složení použité směsi (Šantrůček et al., 2001).

Podle způsobu využívání TTP dělíme na absolutní louky, absolutní pastviny, pastevní louky a speciální travní porosty.

#### **Absolutní louky**

využívají se pouze sečně, pastva je zde znemožněna nedostatečnou únosností drnu, zejména v první polovině vegetačního období a na podzim což je ovlivněno vlhkostním režimem, mělkostí a šterkovitostí půdy, erozním ohrožením apod.

#### **Absolutní pastviny**

jsou neoratelné plochy, svažítost a nerovnost povrchu znemožňují sečení.

#### **Pastevní louky**

umožňují kombinaci seče i pastvy. Mohou být absolutní (neoratelné) anebo obnovitelné (oratelné).

Pro daný způsob energetického využití jsou nutné specifické vlastnosti biomasy travních porostů. Tyto vlastnosti jsou velmi variabilní a závisí především na obhospodařování travních porostů. Proto je důležité vědět pro jakou konkrétní výrobu bude travní porost využit. Výzkum v oblasti využití travních porostů se tedy zaměřuje na vhodnost biomasy travních porostů pro konkrétní aplikaci a na strategie kontroly charakteristik biomasy. Dalším prioritním tématem výzkumu je udržitelnost výroby bioenergie z travních porostů, zejména s ohledem na ekologické a ekonomické aspekty (Prochnow et al., 2009a). V současnosti jsou travní porosty využívány jako surovina pro výrobu bioplynu a jako pevné biopalivo pro spalování. V budoucnosti lze předpokládat i výrobu bioetanolu, lignocelulózových syntetických biopaliv nebo syntetického zemního plynu. Travní porosty se také používají jako vstupní surovina v rámci „Zelených“ rafinérií (Kromus et al., 2004).

### **2.2.1 Agrotechnika trvalých travních porostů**

Základní povrchovou úpravou je nutné zajistit vhodné obhospodařování a stabilitu zemědělského ekosystému. Kulturní travní porosty vyžadují většinou strukturní, utužený povrch půdy méně hodnotné rostliny a plevely naopak kyprý. K zajištění tohoto požadavku by měly směřovat všechny běžné mechanické zásahy. Jedná se zvláště o smykování které je nejdůležitějším mechanickým zásahem. Tím se srovná povrch a v záplavových územích se

rozrušují nanesené kaly, krtince aj. Válení travního porostu nelze považovat za zásah, který má vždy kladný vliv na výnos a kvalitu píce. Pozornost je však třeba věnovat válení u nově založených travních porostů, případně i po zimě. Vlácení nelze jednoznačně doporučit (Šroller et al., 1997).

Základním intenzifikačním prostředkem je hnojení. Pastevní travní porost obsahuje v 1 t sušiny v průměru 25,6 kg N, 3,0 kg P, 24,0 kg K, 7,5 kg Ca a 3 kg Mg, v případě lučního využití je v 1 t sena obsaženo cca 20 kg N, 2,5 kg P, 18 kg K 8,2 kg Ca a 2,9 kg Mg. Živočišnou produkcí se část živin dostává mimo pozemek formou exkrementů pasoucích se zvířat a statkových hnojiv se převážná část živin vrací zpět (Hejátková et al., 2007).

Hnojení luk slouží k doplňování živin odebíraných při sklizni biomasy a jeho intenzita záleží na režimu sklizně (Srový, 2008). Jinak dojde nejprve ke snížení produkce a během několika let i ke změně druhového složení. Nebezpečnější než postupné ochuzování je však přehnojení porostu, které již během první vegetační sezóny vede k prudkému rozvoji trav a některých širokolistých bylin (při dusíkatém přehnojení) nebo i vikvovitých (při přehnojení fosforečnými hnojivy). Zemědělské podniky zde mají možnost rozumného využití statkových hnojiv, protože z výzkumu uvádí Komárek (Komárek, 2005) poznatek, že zdroje statkových hnojiv a jejich uvážlivé použití k hnojení travních porostů uspokojivě kryje v podmínkách ČR potřebu píce pro 1 až 1,5 DJ/ha. Odběr jednotlivých druhů živin dle typu porostu je zobrazen v tabulce č.4.

**Tab. 4 Odběr živin, [kg/t]** (zdroj: Komárek, 2005)

Druh porostu	N	P	K	Mg
Trvalý luční	17,0	6,5	16,0	3,1
Pastevní	25,0	8,0	23,0	3,5

Dávky dusíkatých hnojiv se stanoví podle intenzity využívání, skladby porostu a stanovištních podmínek. V tabulce č. 4 jsou zachyceny průměrné ztráty živin při základním využívání travních porostů. Při hnojení fosforem by dávka měla být stanovena podle obsahu fosforu v půdě. Hnojení draslíkem přináší problém s horší kvalitou píce (Čírtek, 1993). Fosforečná a draselná hnojiva se aplikují jednorázově na jaře nebo po 1. seči (u draslíku), od hnojení draslíkem se upouští v případě hnojení statkovými hnojivy a v případě pastvy. Při bilancování hnojení je třeba vycházet z plánovaných výnosů píce a ze zásoby živin v půdě.



Pro účely praktického hnojení byly metodiky v ČR postaveny do roku 1985 na stupních intenzity, které byly po roce 1985 převedeny na ekologické výrobní hladiny (EVH), a tím byl systém sjednocen s metodikami pro polní plodiny. Ekologická výrobní hladina (EVH) v případě travních porostů představuje dosahovanou produkci sena v t/ha. Při určování výše hnojení se vychází z dosahovaného očekávaného výnosu sena (Kavka et al., 2003)..

Pro hnojení se používají v první řadě statková hnojiva vyprodukovaná v rámci lučně-pastevních hospodářství (močůvka, kejda skotu, uleželý hnůj, kompost a hnojiva bilancovaná z exkrementů pasoucích se zvířat), případně se v konvenčním zemědělství rozdíl vyrovnává průmyslovými hnojivy. U obnovených a přisetých travních porostů s podílem jetelovin 30 – 50 % se snižuje v prvním užitkovém roce dávka dusíku až o 2/3, ve druhém o 1/3, přičemž se nehnojí statkovými hnojivy, která podporují výskyt chorob z rodu *Fusarium* na kořenech jetelovin, což snižuje jejich vytrvalost (Kavka et al., 2003)..

Při hnojení organickými hnojivy je nutné počítat s využitím technologie respektující směrnici IPPC (Integrated Pollution Prevention Control) s použitím BAT technologie (Best Available Technique – nejlepší dostupná technika) se dosahuje snížení emisí amoniaku o 40 – 60 %, čímž se výrazně snižují ztráty dusíku a zátěž životního prostředí (Kavka et al., 2003).

**Tab. 5 Doporučené dělení dusíkatého hnojení podle způsobu využívání porostu (Hejálková et al., 2007)**

EVH (t/ha sena)	Normativ hnojení N (kg/ha)	Způsob využívání					
		luční		pastevní			
		termín aplikace					
		jaro	po I. seči	jaro	po 1. cyklu	po 2. cyklu	po 3. cyklu
dělení celkové dávky N hnojení (kg/ha)							
4,0	40	40	-	40	-	-	-
4,5	60	60	-	30	30	-	-
5,0	80	80	-	40	40	-	-
5,5	100	100	-	40	30	30	-
6,0	120	120	-	40	40	40	-
6,5	140	80	60	40	40	30	30
7,0	160	100	60	40	40	40	40
7,5	180	100	80	50	50	40	40
8,0	200	100	100	50	50	50	50

## 2.2.2 Funkce trvalých travních porostů

Role přirozených i uměle založených travních porostů se za poslední desetiletí výrazně změnila. Přesto travní porosty mají dvě základní funkce. Je to funkce produkční a mimoprodukční. Z původního využití výhradně pro produkci objemných krmiv se TTP začaly uplatňovat také v nepícninářském využití jako prostředek zemědělské udržitelnosti sloužící ke zlepšování životního prostředí a zachování současných genetických zdrojů rostlin a zvířat. Svou nezastupitelnou funkci mají původní i nově zakládané travnaté plochy sloužící jako významný krajinnotvorný prvek s mnoha důležitými funkcemi. Patří sem funkce ochranná – kořenový systém TTP zabraňuje půdní erozi. Fungují také jako biotopy poskytující životní prostředí rozmanitým rostlinným i živočišným druhům. Trvalé travní porosty hrají důležitou roli při ochraně a utváření zemědělské i nezemědělské krajiny a při obnovení lokalit porušených antropogenní činností. Zcela nově se uplatňuje využití TTP pro bioenergetické a další specifické účely, jako je regenerace psychických a fyzických sil člověka (relaxace, sport) (Vrzalová, 2009).

## 2.3 Ovlivnění vlastností biomasy trvalých travních porostů

U biomasy pro spalování je cílem dosažení vysoké výtěžnosti na jednotku plochy ( $\text{GJ}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) při co nejlepší kvalitě paliva. Energetický výnos zahrnuje hektarový výnos biomasy a také energetický obsah biomasy. Jakost paliva pak určují fyzikální a chemické vlastnosti (fyzikální a chemické vlastnosti trávy jsou uvedené v tabulce č.6), které mají vliv na celý proces tepelného využití.

**Tab. 6 Vybrané fyzikální a chemické vlastnosti trávy** (zdroj: Mužík et al., 2006)

Materiál	Organické látky (% suš.)	Sušina (%)	Poměr C:N	pH
Čerstvě posečená tráva	80 - 92	15 - 25	12 - 25	6,0 – 6,5

Chemické vlastnosti biomasy z travních porostů a jejich dopady shrnul Obernberger et al. (2006). Obsah uhlíku, vodíku a kyslíku, které jsou hlavními složkami tuhých biopaliv jsou zvláště důležité pro spalné teplo. Výhřevnost určuje také obsah vodíku. Obsah dusíku v palivu je zodpovědný za tvorbu oxidů dusíku, a nesmí překročit 0,6 % sušiny. Obsah síry by měl být nižší než 0,1 % sušiny. Obsah chloru by měl být pod 0,1 % sušiny. Množství popela

pak ovlivňuje výběr vhodné technologie spalování. Hlavní součásti popela jsou prvky jako hliník, vápník, železo, draslík, hořčík, sodík, fosfor, křemík a titan, významné pro jeho reakci.

Hlavní fyzikální charakteristiky paliva jsou výhřevnost, obsah vody, velikost částic, objemová hmotnost, chování popela při tavení ( Obernberger, 1998). Výhřevnost závisí především na obsahu vlhkosti. Podle McKendryho (2002) se výhřevnost snižuje lineárně s rostoucím obsahem vlhkosti. Lze konstatovat, že vlastnosti biomasy travních porostů se liší v širokém rozsahu. Dále je podle Jenkinse et al. (1996) v negativní korelaci s obsahem popela. S každým zvýšením o 1procentní bod koncentrace popela se výhřevnost paliva sníží o 0,2 MJ/kg. Podle Prochnowa (2009b) je nejdůležitější pro chemické složení a fyzikální vlastnosti biomasy TTP fáze vegetace. Kvalita paliva se zvyšuje se zpožděnou sklizní. V případě pozdní podzimní sklizně, či časné jarní sklizně klesnou tak pod prahové hodnoty obsahy nežádoucích prvků. V tabulce 7 jsou zaznamenány výsledky výzkumu stanovení spalného tepla a výhřevnosti ve 100% sušině u 12 travních druhů ( průměr za tři užitkové roky).

Také klesá obsah popela a stoupá teplota tání (Tonn et al., 2010). Opožděná sklizeň zlepšuje vlastnosti za prvé proto, že se zvyšuje podíl stonků a naopak listová biomasa se snižuje se stárnutím rostliny a vyšší koncentrace živin se nachází v listech (Landström et al., 1996). Za druhé translokace živin do podzemních částí rostlin může pokračovat celou dobu do sklizně nebo být ukončeno před sklizní. A za třetí, část prvků se vyplaví za vegetace v důsledku srážek. Zatímco pozdější sklizeň má pozitivní vliv na kvalitu biopaliva, na druhé straně vede až k pozoruhodným ztrátám biomasy (Prochnow et al., 2009b).

**Tab. č. 7 Spalné teplo a výhřevnost ve 100% sušině u 12 travních druhů ( průměr za tři užitkové roky)**  
(Zdroj: Frydrieh a kol., 2012)

Tráva	Spalné teplo (kJ/kg)	Výhřevnost (kJ/kg)		
		průměr	max.	min.
Kostřava rákosovitá	18 849	18 245	18 554	17 984
Psineček veliký	19 270	18 661	18 825	18 432
Kostřavice bezbranná	18 577	17 968	18 205	17 654
Ovsík vyvýšený	17 596	16 987	17 356	16 354
Lesknice rákosovitá	18 120	17 504	17 905	17 085
Lesknice kanárská	17 979	17 361	18 005	17 065
Ozdobnice čínská /Misc/	19 669	19 066	19 186	18 830
Proso seté	19 321	18 716	19 078	18 510
Rákos obecný	18 469	17 852	18 154	17 542
Bezkoleneček rákosovitý	18 233	17 625	17 890	17 357
Třtina křovištní	18 895	18 281	18 745	17 958

Sveřep vzpřímený	18 516	17 890	18 056	17 468
------------------	--------	--------	--------	--------

## 2.4 Příprava biomasy pro energetické účely

Biomasa je zdroj energie, jehož využití je úzce vázáno na její zdroje. To je dáno jejími specifickými vlastnostmi, zejména malou objemovou hmotností a tedy složitou transportovatelností. Dále jsou u biomasy patrné výkyvy ve vlastnostech a složení. Před využitím biomasy travních porostů pro energetické účely je tedy nutné provést analýzu zdrojů biomasy, výběr vhodného portfolia druhů rostlin, zvážit nutné agrotechnické postupy, připravit logistiku sběru a skladování biomasy, případně nutnost například dosoušení, dostupnost technologie výroby paliva z biomasy (pelety) a také vyřešit distribuci paliva z biomasy (Logistika, 2009).

Sklizeň a následné posklizňové zpracování biomasy je velice důležitou operací z důvodu technického a logistického. Na ekonomice sklizně výrazně závisí i celková ekonomika výroby biopaliv. Pro sklizeň bylinné biomasy určené pro energetické využití lze využít velkou škálu technologických postupů, které se používají pro sklizeň a úpravu plodin určených pro potravinářské, krmivářské nebo průmyslové účely (Ochodek, 2013).

Pevná biomasa se upravuje co se týče vlhkosti a formy. Upravení vlhkosti směrem k nižším hodnotám se provádí sušením. Sušení se provádí pro termochemické využití, ostatní procesy probíhají ve vodním prostředí, proto je naopak vhodné sklízet rostliny ve stádiu, kdy mají dostatek vody. Úprava formy se děje mechanickou úpravou, kdy je možné biomasu formovat do větších objemnějších tvarů nebo naopak do jemné formy (balíkovací a paketovací lisy, štěpkovače a drtiče, peletovací a briketovací lisy). Pro biochemické a fyzikálně-chemické procesy se biomasa zvláště neupravuje, úprava je součástí procesu zpracování a výroby biopaliva v plynném nebo kapalném skupenství (Ochodek et al., 2007). Při plánování využití biomasy jako zdroje energie je třeba dbát na zachování poměru mezi energií použitou při výrobě na straně jedné a energií získanou z výrobku na straně druhé (energetická rovnováha) (Biomasa, 2009).

## 2.5 Spalování

Získávání energie z biomasy (viz tab. 8) pro energetické účely lze uskutečnit těmito způsoby (Moudrý, Stražil, 1999):

a) Termochemickou přeměnou biomasy (suché procesy pro energetické využití biomasy)

- spalováním,
- zplyňováním,
- pyrolýzou.

b) Biochemickou přeměnou biomasy ( mokré procesy pro energetické využití biomasy)

- alkoholovým kvašením,
- metanovým kvašením.

c) Fyzikální a chemická přeměnou biomasy.

d) Získáváním odpadního tepla při zpracování biomasy (např. při kompostování, aerobním čištění OV, anaerobní fermentaci pevných organických odpadů apod.).

V praxi ze suchých procesů převládá spalování biomasy, z mokřých procesů pak výroba bioplynu anaerobní fermentací. Z ostatních způsobů je nejrozšířenější výroba metylesteru kyselin bioolejů získávaných v surovém stavu ze semen olejnatých rostlin. A ještě chybí citace

### 2.5.1 Popis spalovacího procesu

Základní technologií energetického využití biomasy je spalování. Je to také nejstarší metoda přímého uvolnění energie a tepla. V průběhu spalovacího procesu dochází ke složitým chemickým i fyzikálním dějům. Z chemických procesů dominují oxidační reakce. V menší míře probíhají i reakce redukční. Z fyzikálních dějů jsou to především přenos látky, hmoty a tepla. Nejdůležitějším fyzikálně-chemickým dějem při procesu spalování je hoření, kdy jde o exotermickou reakci hořlavých prvků s okysličovadlem, při kterém dochází k emitování záření v oblasti viditelného spektra. Reakci lze popsat pomocí chemických rovnic. Známé jsou tři základní rovnice hoření, kterými lze dosazením molekulových hmotností vyjádřit výhřevnost<sup>1</sup> (Noskievič a kol., 1996).

Spalování uhlíku na oxid uhličitý

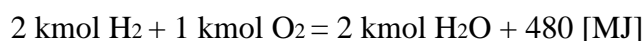
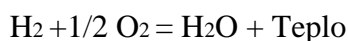


$$1 \text{ kmol C} + 1 \text{ kmol O}_2 = 1 \text{ kmol CO}_2 + 400 \text{ [MJ]}$$

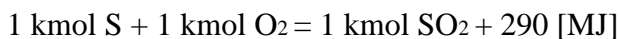
Spalování vodíku na vodní páru

---

<sup>1</sup> Výhřevnost uhlíku je rovna 33,8 [MJ/kg], vodíku 120 [MJ/kg] a síry 9,25 [MJ/kg].



Spalování síry na oxid siřičitý



Proces spalování se většinou ovlivňuje úpravou velikosti a vlhkosti spalovaného materiálu. Velikost se v praxi upravuje nejčastěji briketováním a peletováním. Obsah vlhkosti v palivu je primárním faktorem, který nejvíce ovlivňuje účinnost spalování a výhřevnost. Proto se využívají pro sušení biomasy sušičky a sušárny. Pokud je hranice vlhkosti okolo 50 %, není proces energeticky ani ekonomicky přijatelný. Je nutné regulovat zplodiny protože ovlivňují životnost spalovacích zařízení a také životní prostředí, protože problémem při spalování je též obsah popelovin a riziko úletu částic. Při hoření jde také o co nejdokonalejší spálení paliva. Pro správné vyhoření paliva a dobrou výhřevnost je důležitý objem spalovacího zařízení, přívod vzduchu, obsah prchavých látek, přebytek vzduchu a další (Pastorek, 2004). Obrázek 1 pak názorně zachycuje faktory, jak je uvádí Pastorek a kol., které ovlivňují proces spalování, jeho kvalitu, množství a koncentraci škodlivin

**Obr. 1 Faktory ovlivňující spalování** (Zdroj: Pastorek a kol., 2004)



### **2.5.2 Technologie spalování**

U spalovacích zařízení na biomasu se používá rozdílných způsobů přívodu paliva. Na trhu tedy existuje mnoho výrobců, kteří se mohou lišit detaily, které mohou výrazně ovlivňovat výslednou kvalitu spalování, emise a komfort obsluhy, ale použité principy jsou si podobné.

#### Spalování na roštu

Roštové kotle se využívají při spalování fosilních paliv a jejich využití je dobré i při spalování biomasy. V těchto zařízeních se dá spalovat téměř veškerá rostlinná biomasa, výjimku tvoří pouze biomasa s jemnou frakcí. Roštové kotle se dělí na kotle s pevným a pohyblivým roštem. Pevné rošty se využívají převážně u kotlů malých výkonů. U kotlů větších výkonů jsou rošty pohyblivé, aby zajišťovaly pohyb paliva směrem do míst, odkud jsou následně odváděny zbytky po spalování (Pastorek et al., 2004).

#### Spalování ve fluidní vrstvě

Při fluidním spalování dochází k spalování paliva ve fluidní vrstvě z inertního materiálu. Tato vrstva umožňuje vstřebávat změny vlastností paliva, zejména se jedná o vlhkost v palivu, která se například u odpadů a stéblin může výrazně lišit. K regulaci výkonu dochází regulací výšky fluidní vrstvy, která je obklopena teplosměnnými povrchy. Další možnost regulace vyžaduje externí výměník, kdy se regulace výkonu kotle provádí úpravou množství materiálu ve výměníku (Ochodek et al., 2007).

#### Spalování se spodním přívodem paliva

Přivádění paliva zesodu pod již hořící vrstvu se v současné době stále rozšiřuje. Po vyhoření paliva je popel vytlačen do boků ohniště, kde propadává do popelníků (Ochodek, 2005, Ochodek a kol., 2007;).

### **2.5.3 Stanovení energie (kalorimetrie)**

Kalorimetrie se zabývá měřením tepla při různých fyzikálních, chemických nebo biologických dějích. Pro měření tepla, tepelné kapacity a dalších kalorimetrických veličin se používá kalorimetr, přičemž nejčastěji je to směšovací kalorimetr, jehož základem je tepelně izolovaná nádoba opatřená teploměrem a míchačkou. Kalorimetrická zařízení i způsob

kalorimetrického měření lze rozdělit do několika typů podle Tianovy kalorimetrické rovnice (Zielenkiewicz, 2005):

$$\frac{dQ}{dt} = C_s \frac{d\Delta T}{dt} + \lambda(T_s - T_0)$$

Veličina  $\frac{dQ}{dt}$  označuje časovou změnu všech tepelných toků v kalorimetrickém systému a jeho okolí,  $C_s$  je tepelná kapacita kalorimetrického systému,  $\frac{d\Delta T}{dt}$  časová změna rozdílu teplot kalorimetrického systému a jeho okolí,  $\lambda$  průměrná tepelná vodivost charakterizující výměnu tepla mezi kalorimetrickým systémem a jeho okolím,  $T_s$  teplota systému,  $T_0$  teplota okolí a  $t$  čas.

Pro spalovací kalorimetrii se používá systém isoperibolický, adiabatický a isotermický. Nejvíce se využívá systém isoperibolický nebo jeho zjednodušená verze, kterou někteří výrobci nazývají systémem dynamickým. Další systémy jsou náročnější a vyžadují složitější kalorimetrický systém (Schmidt, 2006).

### 2.5.3.1 Spalné teplo, výhřevnost

Stanovení spalného tepla a výhřevnosti má zásadní význam pro zhodnocení efektivity spotřeby paliv nebo jejich optimálního využití. Při spalování biomasy je výhřevnost podstatně více ovlivňována obsahem vody než druhem biomasy. U absolutně suché stébelné hmoty je např. výhřevnost pouze asi o 6 % nižší než u sušiny dřevin. Pro výhřevnost sušiny je rozhodující látkové složení. Biomasa s vysokým obsahem ligninu má zpravidla vyšší výhřevnost než materiál obsahující převážně celulózu. Výhřevnost samotného ligninu je o cca dvě třetiny vyšší než celulózy (Kotlánová, 2009).

Spalné teplo je množství tepla, uvolněné úplným spálením paliva v kalorimetrické tlakové nádobě v prostředí stlačeného kyslíku při teplotě 25 °C, vztažené na jednotku jeho hmotnosti. Zbylými produkty jsou nejčastěji plynný kyslík, oxid uhličitý a kapalná voda, případně také popel, kyselina sírová nebo dusičná.

Spalné teplo  $Q_s$  [ $J \cdot g^{-1}$ ] se vypočítá podle vzorce (ČSN 44 1352, ČSN EN ISO 1716):

$$Q_s = C(Dt - K) - c / m$$



kde  $C$  je tepelná kapacita kalorimetrického systému [ $J \cdot ^\circ C^{-1}$ ]

$D_1$  celkový vzestup teploty v hlavním úseku [ $^\circ C$ ]

$K$  oprava na výměnu tepla s okolní atmosférou [ $^\circ C$ ]

$c$  součet oprav [ $J$ ]  $c = c_1 + c_2 + c_3 + c_4$   $c_2, c_3$  a  $c_4$  zanedbat

$c_1$  oprava na teplo, uvolněné spálením nitky 50 J

$m$  hmotnost navážky analytického vzorku paliva [g]

Oprava na výměnu tepla kalorimetrického systému s okolím  $K$  se vypočítá podle vzorce:

$$K = 0,5 (d_H + d_K) + (n - 1) d_K$$

kde  $d_H$  je průměrná změna teploty za minutu v počátečním úseku [ $^\circ C$ ]

$d_K$  průměrná změna teploty za minutu v konečném úseku [ $^\circ C$ ]

$n$  počet minut v hlavním úseku

Je-li známo elementární složení zkoušeného materiálu je možné hodnotu spalného tepla přepočítat na výhřevnost. Výhřevnost má význam pro praktické hodnocení paliv, protože při topení a výrobě energetické páry nemůže kondenzovat vodní pára ze spalin. Obsahují-li spaliny větší množství vodní páry, podílí se pára svou malou hustotou významně na vzniku komínového tahu potřebného k přívodu vzduchu do topeniště.

Výhřevnost je potom spalné teplo, zmenšené o výparné teplo vody, vzniklé z paliva během hoření. Výhřevnost  $Q_v$  [ $J \cdot g^{-1}$ ] se vypočítá podle vzorce (ČSN 44 1352, ČSN EN ISO 1716):

$$Q_v = Q_s - 24,42(W + 8,94 H_h)$$

kde 24,42 je koeficient odpovídající 1 % vody ve vzorku při teplotě  $25^\circ C$  [ $J \cdot g^{-1}$ ]

$W$  obsah vody v analytickém vzorku [%]

8,94 koeficient pro prepočet vodíku na vodu

$H_h$  obsah vodíku v analytickém vzorku [%]

Energii, její různé druhy, např. zářivou, elektrickou či chemickou lze za vhodných podmínek převést kvantitativně na teplo, a proto je možné kalorimetrické metody využívat ve fyzice, chemii i biologii. Všechny fyzikální, chemické či biologické děje jsou doprovázeny změnou entalpie, což dává kalorimetrii universální využití.

## **3. Materiál a metody**

### **3.1 Cíl práce**

Cílem práce je zjistit, jak různá úroveň hnojení trvalého travního porostu má vliv na obsah energie v biomase a celkové množství energie získané z jednotky plochy. Bude také změřen výnos suché biomasy v tunách na jednotku plochy.

**Hypotéza:** Různá úroveň hnojení trvalého travního porostu má vliv na obsah energie v biomase travního porostu a tedy i na celkově získané množství energie z jednotky plochy.

### **3.2 Popis pokusné lokality**

Pokus byl založen na pozemku v lokalitě Černíkovice (49°46'27"N, 14°34'52"E), okres Benešov. Pokus probíhá na úrodné údolní louce mezofytního až mezohygrofytního charakteru v nivě Úsobrnského potoka. Hladina podzemní vody se pohybuje průměrně 0,55 m pod povrchem půdy. Na pozemku se nachází hlinitá půda s půdním typem fluvizem glejová a půdní reakcí 5,0 pH (KCl).

Lokalita spadá do bramborářské výrobní oblasti a nadmořská výška činí 363 m n. m. Klimatický region je mírně teplý, mírně vlhký. Meteorologická stanice Ondřejov udává průměrný úhrn srážek 600 mm a průměrnou roční teplotu 8,1 °C.

### **3.3 Založení pokusu**

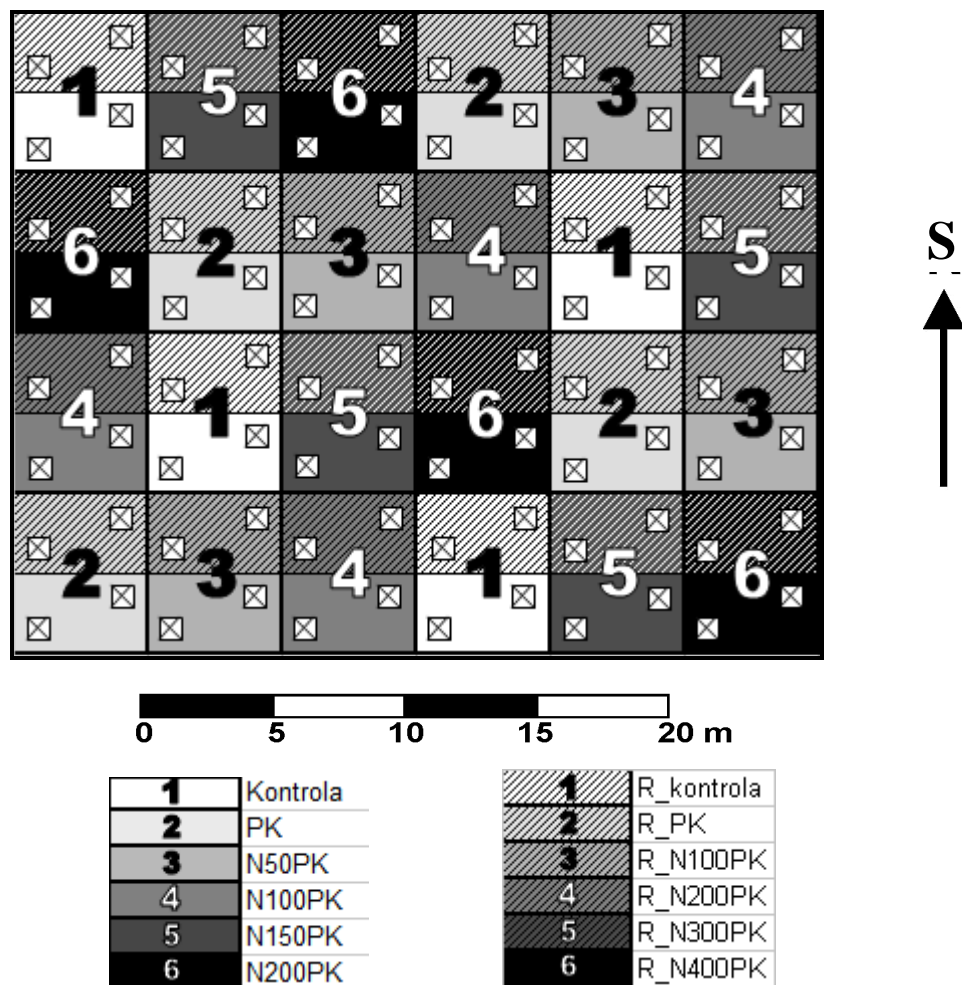
Pokus byl založen v roce 1966 se šesti variantami ve čtyřech opakováních metodou znáhodněných bloků. Založené varianty měly až do roku 1991 tyto úrovně hnojení: nehnojená kontrola, PK, N100PK, N200PK, N300PK a N400PK. Velikost jednotlivých pokusných parcel byla 30 m<sup>2</sup> (5 x 6 m).

V roce 1992 byly pokusné parcely rozděleny na dvě stejné části. Na jedné polovině bylo hnojení zcela ukončeno a začal se na nich sledovat reziduální vliv hnojení (varianty s označením R). Na druhé polovině došlo ke snížení dávek dusíku na polovinu a je na nich dále

sledován vliv dlouhodobého hnojení. Tímto se docílilo dvojnásobku variant (1 kontrolní), opět ve čtyřech opakováních, ale o rozměrech 5 x 3 m. Polovina parcel je udržována bez hnojení a polovina s PK hnojením, které se opět liší v dávkách dusíku. Tato práce se zaměřuje na varianty hnojení: nehnojená kontrola, PK, N50PK, N100PK, N150PK, N200PK.

Parcely jsou obhospodařovány třísečně, první seč se provádí zpravidla na přelomu května a června, následující potom v odstupech cca 60 dnů prstovou žací lištou MF-70 (140 cm) na výšku strniště přibližně 5 cm. Při každé seči se zjišťuje výnos nadzemní biomasy ze středního pásu parcely o ploše 7 m<sup>2</sup>, sklizená hmota je okamžitě vážena.

Obr. 2 Schéma pokusu



varianty s dlouhodobým hnojením (spodní část parcely) a varianty s reziduálním vlivem hnojení (horní šrafovaná část parcely). Čtverce ukazují umístění jednotlivých botanických snímků o rozměru 1 x 1 m.

### 3.4 Aplikace hnojiv

Hnojení dusíkem bylo každoročně prováděno na jaře ledkem amonným s vápencem ( $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$ ) a dle variant hnojení v dávkách do 200 kg/ha. Fosfor byl aplikován na všech variantách hnojení vždy ve stejné dávce 40kg/ha v podzimním termínu ve formě superfosfátu ( $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaSO}_4$ ). Draslík byl také aplikován na všech variantách hnojení vždy ve stejné dávce 100kg/ha v podzimním termínu, hnojivo bylo ve formě draselné soli ( $\text{KCl} + \text{NaCl}$ ).

### 3.5 Sklizeň porostu

Parcely jsou využívány třísečně, první seč se provádí zpravidla na přelomu května a června, následující potom v odstupech cca 60 dnů. Porost je sečen prstovou žací lištou MF-70 (140 cm) na výšku strniště přibližně 5 cm. Při každé seči se zjišťuje výnos nadzemní biomasy ze středního pásu parcely o ploše 7 m<sup>2</sup>, sklizená hmota je okamžitě vážena. Vzorky sloužící k této práci byly odebrány v roce 2012 a seče se uskutečnily v termínech 31.5., 7.8. a 17.10.

### 3.6 Metodika

Výhřevnost byla stanovována z odebraných vzorků při všech třech sečích. Vzorky byly odebrány vždy čtyři ze všech sledovaných variant a byla stanovena výhřevnost odebraného materiálu. Hodnocení vlivu hnojení trvalého travního porostu na celkovou produkci energie bylo provedeno na odebraných vzorcích z pokusné lokality u obce Černíkovice. Velikost vzorků se pohybovala v rozmezí 0,8 – 1g. Po odběru, usušení a nadrcení rostlinné hmoty bylo automatickým adiabatickým kalorimetrickým systémem IKA C 5000 control stanoveno spalné teplo jednotlivých vzorků. Následně byl proveden výpočet obsahu energie (j/g) v biomase podle ČSN ISO 1928 (2010). Ze spalného tepla byla vypočtená výhřevnost a to dle normy ČSN EN 14918 (2010) podle níže uvedeného vzorce:

$$q_{v,\text{net},m} = (q_{v,\text{gr},d} - 206w_{\text{H},d}) \times (1 - 0,01M_{\text{T}}) - 23,05M_{\text{T}}$$

$q_{v,\text{gr},d}$  - spalné teplo při konstantním objemu, vyjádřené v J/g paliva v bezvodém stavu  
 $w_{\text{H},d}$  - obsah vodíku v palivu v bezvodém stavu, vyjádřený jako hmotnostní zlomek v %, zahrnuje vodík z hydrátové vody popelovin a rovněž vodík z uhelné substance. Hodnota  $w_{\text{H},d}$  byla stanovena na 6,3 a to dle tabulkové hodnoty ČSN ISO 1928 (2010).

$M_T$  – je obsah veškeré vody, pro který se výpočet požaduje, vyjádřený jako hmotnostní zlomek v %

Ze zjištěných hodnot výnosů v t/ha travního porostu a obsahu energie v biomase (j/g) bylo vypočteno celkové množství energie vyprodukované na jednotku plochy. Výsledky byly statisticky vyhodnoceny analýzou rozptylu v programu STATISTICA 12 (<http://www.statsoft.cz/podpora/ke-stazeni/trial-verze-statistica/>).

#### 4. Výsledky

Výnos nadzemní biomasy byl měřen při každé seči. Výnos suché hmoty byl měřen ze všech odebraných vzorků při třech sečích. Výnosy suché hmoty přepočítané na jednotku plochy, v tomto případě na 1 hektar, podle všech variant hnojení (bez hnojení až po N200) jsou zaznamenány v tabulce 8. Je patrné, že výnos sušiny se pohyboval v intervalu od 1,40 t/ha, což byl průměr vzorků u nehnojené kontroly ve třetí seči, po 5,34 t/ha, jako průměr u vzorků z první seče u hnojení N200.

Tab.č.8 Výnos suché hmoty (t/ha)

varianta		1.seč	2.seč	3.seč	Průměr
1	KONTR	3,05	3,85	1,40	2,76
2	N	3,18	3,74	2,29	3,07
3	N50	3,96	3,97	1,68	3,20
4	N100	4,66	3,28	1,34	3,09
5	N150	4,24	3,44	1,45	3,04
6	N200	5,34	3,68	1,42	3,48

Analýzou rozptylu bylo provedeno statistické vyhodnocení získaných výsledků. Nulová hypotéza v tomto případě byla, že na produkci suché hmoty z biomasy trvalého travního porostu nemá vliv úroveň hnojení. Tuto hypotézu na základě tabulky č. 9 lze zamítnout.

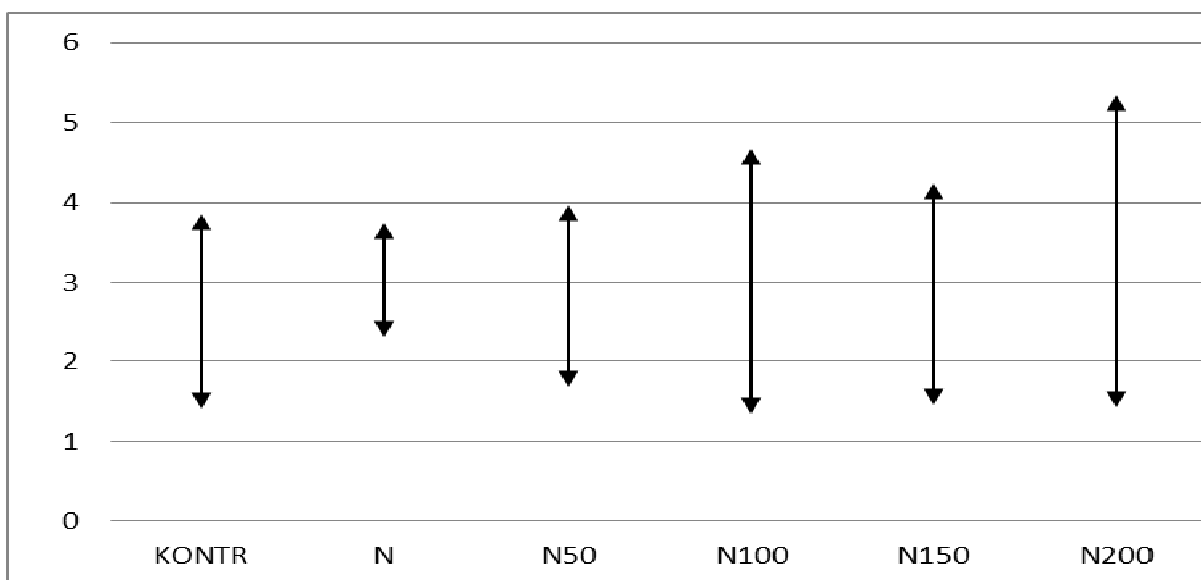
Tab. č. 9 Výsledek Anovy pomocí F kritéria (výnos suché hmoty – 3 seče)

Zdroj	Jednorozměrný test významnosti pro plánované porovnání Závislá proměnná: suchá hmota				
	Součet čtverců	Stupně volnosti	Průměr čtverců	F	P

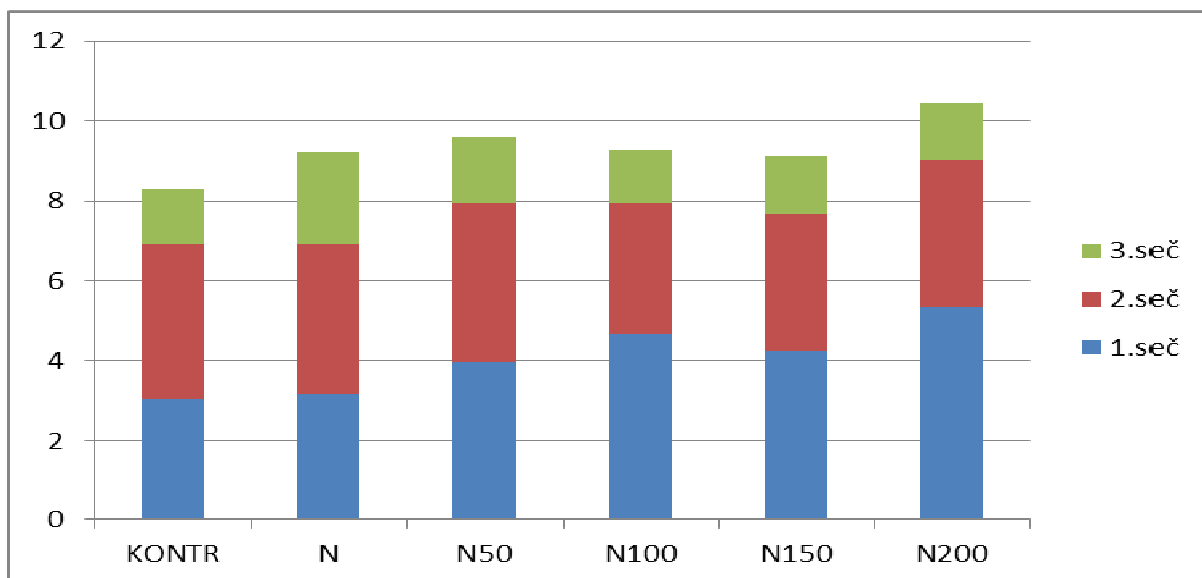
Efekt	1,60248	5	0,32049	0,1735	0,9714
Chyba	110,82800	60	1,84713		

Na následujícím obrázku jsou vyneseny 0,95 intervaly spolehlivosti. Nejširší interval má typ hnojení N200, nejužší pak N. To odpovídá i obrázku 3, kde je znázorněno jaké množství bylo průměrně sklizeno z plochy v závislosti na hnojení a pořadí seče. Pouze varianta hnojení N vykázala podobný výnos při všech třech sečích. Vzhledem k průměrnému výnosu to bylo 103 % v první seči, 121 % v druhé a 74 % ve třetí. Varianta N200 měla v první seči výnos 154 % průměru, ve druhé seči již 105 % a nejméně při seči číslo tři a to pouhých 40 %. To znamená, že více než 50 % celkového výnosu v této variantě hnojení přináší první seč.

**Obr. 2 Výnos suché hmoty** (statistika – vertikální sloupce představují 0,95 intervaly spolehlivosti)



**Obr. 3 Průměrný výnos suché hmoty 1, 2 a 3 seč**



Jako nejefektivnější se jeví hnojení N50. Při této úrovni hnojení bylo dosaženo 92 % nejvyššího celkového výnosu ze třech sečí, což bylo 9,62 t/ha oproti 10,44 t/ha u hnojení N200. Také výnosy v první a druhé seči byly vyrovnané, ve výši 123 a 124 % průměrného výnosu u tohoto typu hnojení. Třetí seč dosáhla 52 % průměru.

Výhřevnost byla stanovována z odebraných vzorků při všech třech sečích. První seč se uskutečnila v termínu 31. května. Vzorky byly odebrány vždy čtyři ze všech sledovaných variant a byla stanovena výhřevnost odebraného materiálu. Výsledky jsou zaznamenány v následující tabulce. Výhřevnost všech čtyř odebraných vzorků v každé variantě hnojení byla vždy obdobná. Rozdíl ve výsledcích je viditelný teprve při porovnání vzorků podle variant hnojení.

**Tab.č. 10 Stanovená výhřevnost TTP z první seče**

Varianta		průměrné spalné teplo (J/g)	průměrná výhřevnost (J/g)
1	KONTR	17659	13562
2	N	17500	13427
3	N50	17496	13423
4	N100	17865	13736
5	N150	18141	13971
6	N200	17726	13618

Analýzou rozptylu bylo provedeno statistické vyhodnocení získaných výsledků z první seče. V programu Statistica je pro jednorozměrný test významnosti samostatný modul v menu Anova. Základním výsledkem je testování pomocí F kritéria. Hodnotí se nulová hypotéza: na produkci energie z biomasy trvalého travního porostu nemá vliv úroveň hnojení. Pro hodnocení testu jsou nejdůležitější hodnoty „p“. Obecně platí, že pokud tyto hodnoty jsou menší než zvolená hladina významnosti (v tomto případě = 0,05), potom se nulová hypotéza zamítá (a analyzované rozdíly jsou významné), pokud je hodnota „p“ větší než zvolená hladina významnosti, potom se nulová hypotéza nezamítá. V tomto případě lze přijmout závěr, že nulová hypotéza je zamítnuta.

V tabulce 11 jsou zobrazeny výsledky výpočtu průměrů a dalších popisných charakteristik porovnávaných skupin. V prvním sloupci je průměrné spalné teplo podle variant hnojení. Druhý sloupec obsahuje vypočtenou směrodatnou chybu a třetí a čtvrtý sloupec pak představuje vždy interval, ve kterém se z 95 % pravděpodobností bude pohybovat naměřená hodnota spalného tepla.

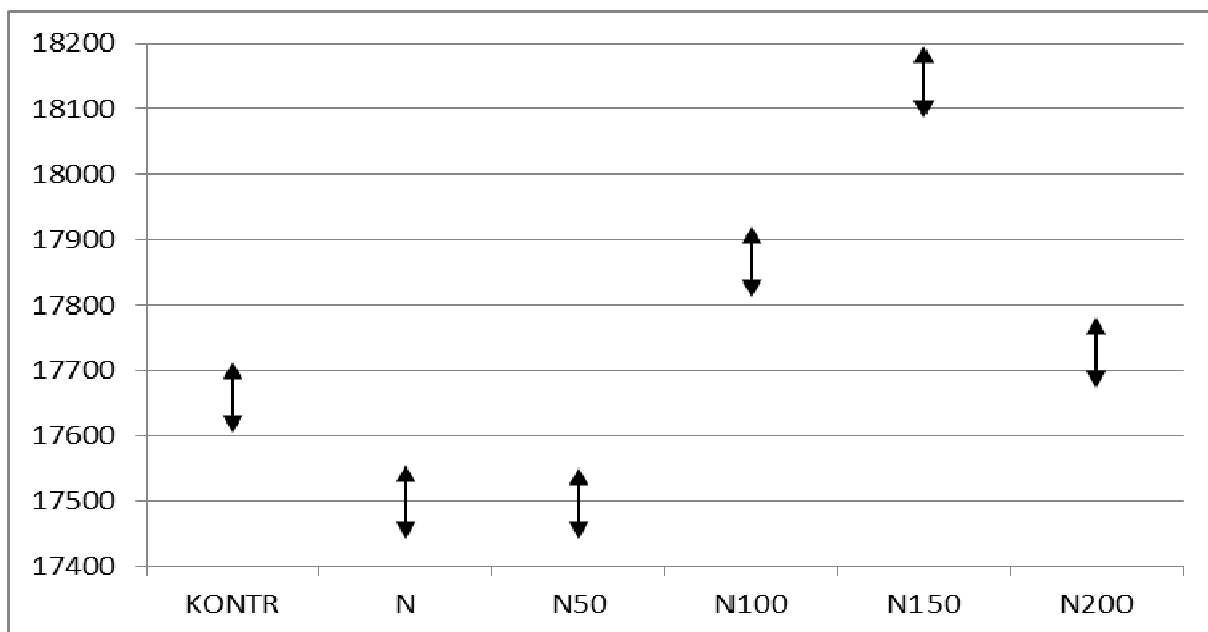
**Tab. č. 11 Tabulka průměrů**

Současný efekt: F(5, 18)=89,347, p=,00000				
hnojení	Spalné teplo Průměr	Spalné teplo Sm.ch.	Spalné teplo -95,00%	Spalné teplo +95,00%
KONTR	17659,25	9,90265	17604,85	17713,65
PK	17500,50	15,46232	17446,10	17554,90
N50	17496,50	30,73950	17442,10	17550,90
N100	17865,00	26,49843	17810,60	17919,40
N150	18141,25	41,59402	18086,85	18195,65
N200	17726,25	17,57543	17671,85	17780,65

Na obrázku 4 je vyneseno průměrné spalné teplo z první seče. Jasně se ukazuje, že nejvíce je hnojením ovlivněn vzorek 5, kdy bylo pro hnojení užito N150P40K100. Hnojení nízkými dávkami N nemá na spalné teplo žádný vliv, naopak při první seči je nižší než u nehnojené kontroly. Také použití nejvyšší dávky N ke hnojení se vyšším spalným teplem neprojevuje, spalné teplo se při využití této dávky snižuje a blíží se k nehnojené kontrole.

**Obr. 4 Spalné teplo - 1.seč** (statistika – vertikální sloupce představují 0,95 intervaly spolehlivosti)





Druhá seč se uskutečnila v termínu 7.srpna. Vzorky byly opět odebrány vždy čtyři ze všech sledovaných variant a byla stanovena výhřevnost odebraného materiálu. Výsledky měření jsou zaznamenány v následující tabulce. Výhřevnost všech čtyř odebraných vzorků v každé variantě hnojení je podobná jako u první seče. Odlišný výsledek je viditelný teprve při porovnání vzorků podle variant hnojení. Také je zřetelný pokles získané energie ze druhé seče vzhledem k první seči. Nejmenší rozdíl vykazovala opět varianta 5, hnojená N150P40K100.

**Tab.č. 12 Stanovená výhřevnost TTP druhé seče**

Varianta		průměrné spalné teplo (J/g)	průměrná výhřevnost (J/g)
1	KONTR	16629	12685
2	N	16451	12535
3	N50	16365	12461
4	N100	17661	12713
5	N150	17820	13698
6	N200	17127	13109

Vzorky byly opět podrobeny statistickému vyhodnocení pomocí programu STATISTICA 12 a nulovou hypotézu i v tomto případě lze zamítnout. V tabulce 13 jsou zobrazeny výsledky

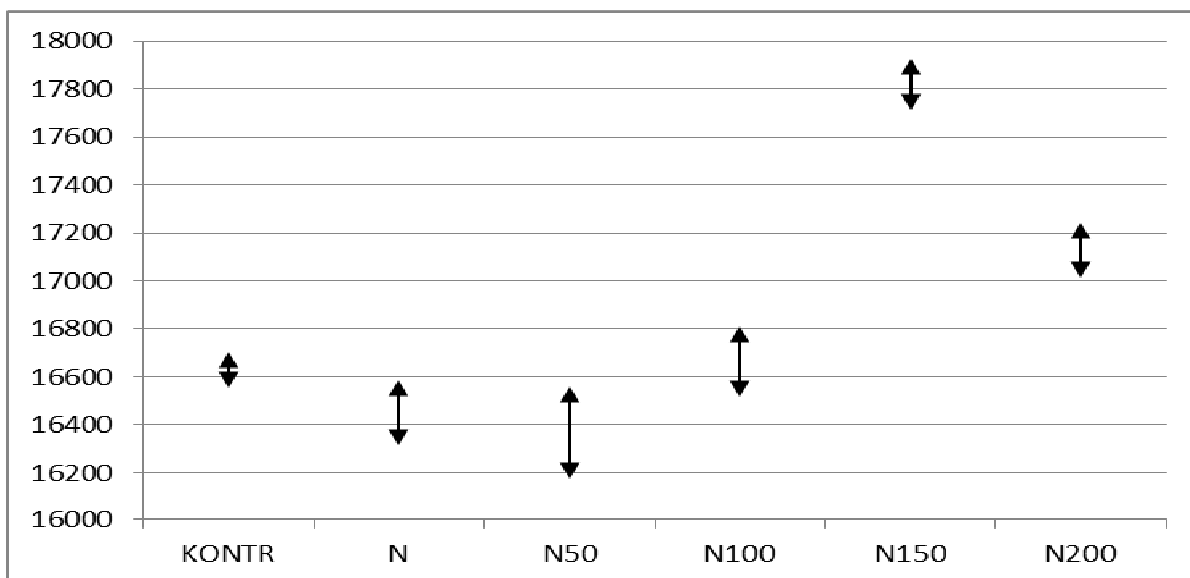
výpočtu průměrů a dalších popisných charakteristik porovnávaných skupin ve druhé seči. V prním sloupci je průměrné spalné teplo podle variant hnojení druhé seče. Druhý sloupec obsahuje vypočtenou směrodatnou chybu a třetí a čtvrtý sloupec pak představuje vždy interval, ve kterém se z 95 % pravděpodobností bude pohybovat naměřená hodnota spalného tepla vzorků z druhé seče.

**Tab. 13 Tabulka průměrů – spalné teplo**

Současný efekt: $F(5, 18)=170,16, p=,00000$				
hnojení	Spalné teplo2 Průměr	Spalné teplo2 Sm.Ch.	Spalné teplo2 -95,00%	Spalné teplo2 +95,00%
K	16628,50	24,03643	16552,01	16704,99
PK	16451,25	42,85513	16314,87	16587,63
N50	16364,75	60,15449	16173,31	16556,19
N100	16661,25	46,39572	16513,60	16808,90
N150	17819,75	33,16719	17714,20	17925,30
N200	17126,50	35,52112	17013,46	17239,54

Na obrázku 5 je vyneseno průměrné spalné teplo z druhé seče. Opět se ukazuje, že nejvyšší spalné teplo bylo naměřeno ze vzorku 5 a je tedy jasné, že je tento vzorek nejvíce ovlivněn hnojením. Hnojení nízkými dávkami N naopak spalné teplo při druhé seči snižuje oproti nehnojené kontrole. Vyšší spalné teplo lze určit oproti nehnojené kontrole i u hnojení N100 a také použití nejvyšší dávky dusíku N200 ke hnojení se vyšší výhřevností projevuje, ovšem snižuje se významně v porovnání s hnojením N150.

**Obr. 5 Spalné teplo- 2.seč** (statistika– vertikální sloupce představují 0,95 intervaly spolehlivosti)



Tabulka 14 zachycuje porovnání výhřevnosti druhé seče. U všech odebraných vzorků výhřevnost druhé seče činila výhřevnost více než 93 % první seče. Vzorky odebrané z prvních čtyř variant oscilovaly mezi 93 a 94 % výhřevnosti vzorků první seče. Vzorky z páté varianty vykazovaly 98 % první seče a šestá varianta dosáhla 96 %. Pokud by se porovnávala celková výhřevnost za všechny varianty, dosáhla by druhá seč 95 % výhřevnosti první seče.

**Tab. 14 Porovnání výhřevnosti 2/1seč (%)**

1	Výhřevnost 2/1 seč	2	Výhřevnost 2/1 seč	3	Výhřevnost 2/1 seč	4	Výhřevnost t 2/1 seč	5	Výhřevnost 2/1 seč	6	Výhřevnost 2/1 seč
1	93,8	4	94,1	18	93,2	10	93,5	12	98,7	3	96,3
11	94,0	8	94,7	5	92,9	6	93,2	2	98,2	7	96,0
14	94,0	19	93,6	20	94,3	21	93,5	23	97,6	16	96,9
22	94,6	17	93,5	9	93,5	13	92,7	15	98,2	24	97,1

Třetí seč se uskutečnila v termínu 17.října. Vzorky byly opět odebrány vždy čtyři ze všech sledovaných variant a byla opět stanovena výhřevnost odebraného materiálu. Výsledky měření jsou zaznamenány v následující tabulce. Výhřevnost vzorků třetí seče je obdobná jako u vzorků druhé seče. Nejvyšší výhřevnost vykazovaly i v této seči vzorky z páté varianty, tedy té která byla hnojená dusíkem N150P40K100. U prvních čtyřech variant je oproti předcházejícím vzorkům patrná větší variabilita ve výhřevnosti jednotlivých odebraných vzorků.

**Tab.č. 15 Stanovená výhřevnost TTP třetí seče**

Varianta	průměrné spalné teplo (J/g)	průměrná výhřevnost (J/g)
1	16611	12671
2	16506	12581
3	16566	12632
4	16587	12650
5	17321	13274
6	16617	12676

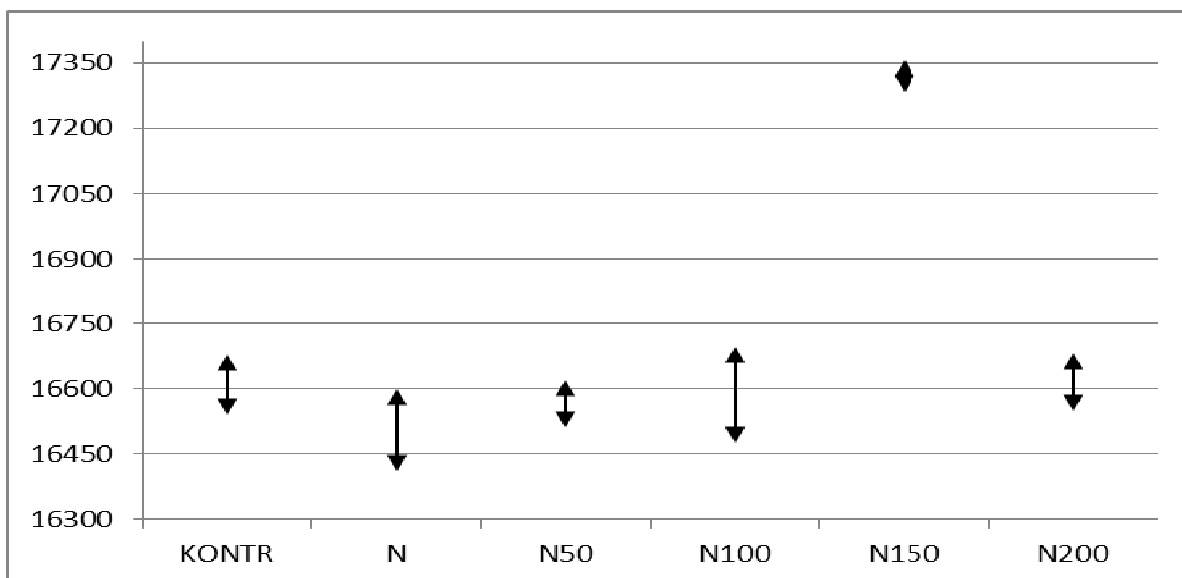
Vzorky byly opět podrobeny statistickému vyhodnocení pomocí programu STATISTICA 12 a i v tomto případě lze opět zamítnout nulovou hypotézu. V tabulce 16 jsou zobrazeny výsledky výpočtu průměrů a dalších popisných charakteristik porovnávaných skupin.

**Tab. 17 Tabulka průměrů**

Současný efekt: $F(5, 18)=163,97$ , $p=,00000$				
hnojení	Spalné teplo 3 Průměr	Spalné teplo 3 Sm.Ch.	Spalné teplo 3 -95,00%	Spalné teplo 3 +95,00%
K	16611,25	21,80740	16541,85	16680,65
PK	16506,25	29,64337	16411,91	16600,59
N50	16565,50	17,27474	16510,52	16620,48
N100	16587,25	34,72601	16476,74	16697,76
N150	17320,50	11,62254	17283,51	17357,49
N200	16617,00	20,78862	16550,84	16683,16

V prním sloupci je průměrné spalné teplo podle variant hnojení třetí seče. Druhý sloupec obsahuje vypočtenou směrodatnou chybu a třetí a čtvrtý sloupec pak představuje vždy interval, ve kterém se z 95 % pravděpodobností bude pohybovat naměřená hodnota spalného tepla vzorků z třetí seče.

**Obr. 6 Spalné teplo- 3.seč** (statistika - vertikální sloupce představují 0,95 intervaly spolehlivosti)



Na obrázku 6 je vyneseno průměrná spalné teplo z třetí seče. Opět se ukazuje, že nejvyšší spalné teplo byla naměřeno ze vzorku 5 a je tedy jasné, že je tento vzorek nejvíce ovlivněn hnojením. Hnojení nízkými dávkami N spalné teplo při třetí seči snižuje pod úroveň nehnojené kontroly. Spalné teplo téměř stejné s nehnojenou kontrolou vykazují i vzorky varianty hnojení N100 a také použití nejvyšší dávky dusíku N200.

**Tab. 18 Porovnání výhřevnosti 3/1 seč (%)**

1	Výhřevnost 3/1 seč	2	Výhřevnost 3/1 seč	3	Výhřevnost 3/1 seč	4	Výhřevnos t 3/1 seč	5	Výhřevnos t 3/1 seč	6	Výhřevnost 3/1 seč
1	93,8	4	95,0	18	94,8	10	93,2	12	95,9	3	93,6
11	94,4	8	93,9	5	94,5	6	92,4	2	95,0	7	93,3
14	93,8	19	94,1	20	94,6	21	92,8	23	95,3	16	93,8
22	94,0	17	94,1	9	94,5	13	92,8	15	95,4	24	94,1

Tabulka 18 zachycuje porovnání výhřevnosti třetí seče vůči první seči. U všech odebraných vzorků výhřevnost druhé seče se výhřevnost pohybovala v intervalu 93 % - 95 % první seče. Vzorky z páté varianty vykazovaly výhřevnost více než 95 % první seče a nejnižší výhřevnost v porovnání s první sečí vykazovala varianta 4, která dosáhla pouze 92,8 %. Pokud by se porovnávala celková výhřevnost za všechny varianty, dosáhla by druhá seč 94 % výhřevnosti první seče.

Tabulka 19 zachycuje porovnání výhřevnosti třetí seče vůči druhé seči. U všech odebraných vzorků výhřevnost druhé seče se výhřevnost pohybovala v intervalu 98,8 % - 102,8 % druhé seče. Pokud by se porovnávala celková výhřevnost za všechny varianty,

dosáhla by třetí seč 100,8 % výhřevnosti druhé seče. Je tedy zřejmé, že třetí seč přináší vyšší zisk energie než seč druhá.

**Tab. 19 Porovnání výhřevnosti 3/2 seč (%)**

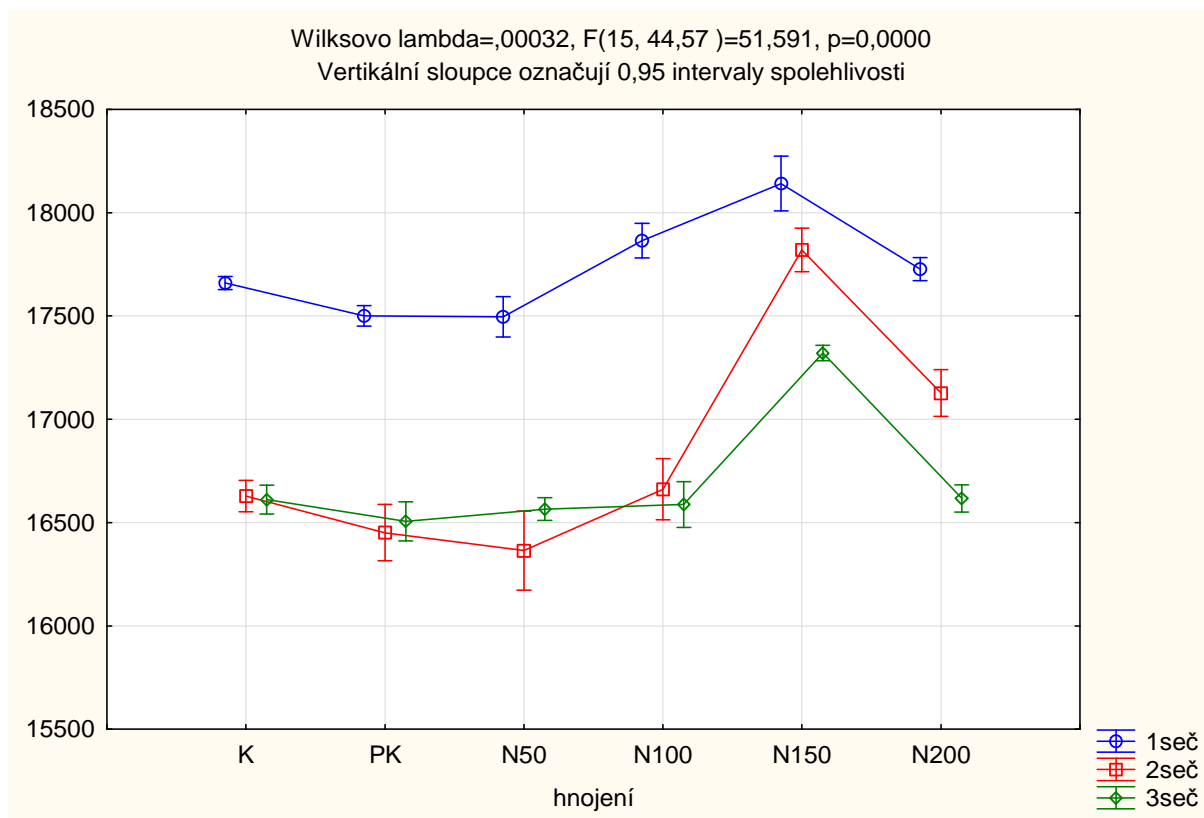
1	Výhřevnost 3/2 seč	2	Výhřevnost 3/2 seč	3	Výhřevnost 3/2 seč	4	Výhřevnost 3/2 seč	5	Výhřevnost 3/2 seč	6	Výhřevnost 3/2 seč
1	99,9	4	99	18	98,2	10	100,2	12	102,8	3	102,8
11	99,5	8	100,7	5	98,3	6	100,8	2	103,3	7	102,8
14	100,2	19	99,4	20	99,6	21	100,7	23	102,3	16	103,3
22	100,6	17	99,3	9	98,9	13	99,8	15	102,9	24	103,1

**Tab.č. 20 Výhřevnost TTP tři seče**

Varianta	průměrné spalné teplo celkem (J/g)	průměrná výhřevnost celkem(J/g)
KONTR	50899	38918
N	50458	38542
N50	50427	38516
N100	51113	39099
N150	53281	40942
N200	51469	39402

Tabulka 20 přináší přehledně rozdělené jednotlivé varianty a jejich spalné teplo i výhřevnost stanovenou ze všech tří sečí. Celková výhřevnost v každé variantě byla stanovena součtem všech tří spalných zkoušek u každé varianty ve čtyřech opakování a následným stanovením průměru. Výsledkem je pak průměrná výhřevnost u varianty nehnojené kontroly 38 918 J/g, u varianty hnojení PK 38 542 J/ha, u varianty hnojení N50 38 516 J/g, u varianty hnojení N100 39 099 J/g, u varianty hnojení N150 40 942 J/g a u varianty hnojení N200 39 402 J/g. Průměrné spalné teplo pak bylo stanoveno ze všech vzorků na 51 275 J/g.

**Obr. 7 Průměrné spalné teplo variant podle doby seče**



Na obrázku 7 je vyneseno průměrné spalné teplo ze všech tří sečí. Při porovnání všech tří sečí je přehledně vidět, že při vyšších dávkách hnojení jsou výsledky výhřevnosti nejvyšší při první seči, následuje třetí seč a nejnižší výhřevnost dává seč druhá. Také je z obrázku vidět, že se nižší dávky hnojení projevují nižší výhřevností než nehnojená kontrola.

**Tab. 21 Porovnání výhřevnosti vůči nehnojené kontrole (%)**

Výhřevnost	PK	N50	N100	N150	N200
1. seč	99,1	99,0	101,1	102,7	100,3
2. seč	98,9	98,4	100,1	107,1	102,9
3. seč	99,3	99,7	99,8	104,2	100,0
celková	99,7	99,6	101,0	105,3	101,7

Tabulka 21 pak znázorňuje procentní výhřevnost všech variant hnojení jednotlivých sečí vztahených k nehnojené kontrole a také celkovou výhřevnost ze všech tří sečí, opět vztahených k nehnojené kontrole. Z této tabulky je zřejmé, že prakticky jediný způsob hnojení má dostatečné odůvodnění a to hnojení N150. Ostatní způsoby hnojení jsou pro výhřevnost TTP zanedbatelné.

Výpočet nákladů:

Pro tuto práci byly u TTP jako náklady sledovány následující operace: hnojení, sečení, sběr a odvoz. U odvozu není specifikována vzdálenost od TTP k místu zpracování či prodeje. Pro výpočet je stanovena vzdálenost 10 km a cena za km 30 Kč. Výpočet nákladů na odvoz je stanoven na plochu hektaru.

Podzimní aplikace hnojiv (P, K) byla sloučena do jedné operace. Na hnojených pozemcích byla shodná dávka hnojiva. Dávka hnojiva byla 255,54 kg/ha. Kavka a kol. (2006) uvádí cenu pro tuto operaci hnojení pevnými minerálními hnojiv 280 Kč/ha. Vápník se na porost dostává s ledkem amonným, ve kterém je ho obsaženo 8 %. Jarní aplikace ledku amonného s vápencem je vyčíslena pro variantu N50P40K100 na 250 Kč/ha, N150PK je to 310 Kč/ha (Kavka, 2006). Ceny hnojiv dle zemědělským norem jsou: ledek amonný 5800 Kč/t, trojitý superfosfát 9500 Kč/t, draselná sůl 6100 Kč/t.

**Tab. č. 22 Ceny aplikovaných hnojiv Kč/ha (Kavka, 2006)**

<b>Roční cena hnojiv</b>					
	NPK	N50PK	N100PK	N150PK	N200PK
LAV s CaO	805	1 074	1 879	3 222	4 027
trojitý P2O5	844	844	844	844	844
KCl	1 016	1 016	1 016	1 016	1 016
celkem	2 665	2 934	3 739	5 082	5 887

Sečení je pro účel stanovení nákladů prováděno nesenou rotační sekačkou, u které jsou náklady na hektar stanoveny na 540 Kč. Sběr hmoty je prováděn sběracím vozem s pasivním řezacím ústrojím, kde zpracování tuny stojí 80 Kč. Náklady jsou zachyceny v tabulce 23. Je zřejmé, že nejnižší náklady jsou v případě nehnojené varianty.

**Tab. č. 23 Náklady na hektar TTP podle typu hnojení**

	<b>varianta</b>	<b>výnos t/ha (3 seče)</b>	<b>Kč/ha</b>
1	KONTR	8,3	1 504
2	N	9,2	4 622
3	N50	9,6	5 072
4	N100	9,3	5 881
5	N150	9,1	7 222
6	N200	10,4	8 162

Pokud budeme počítat s tržbami ve výši 800 Kč za tunu TTP pak za výnosy znázorňuje tabulka následující tabulka. Nejvyšší výnos přináší varianta hnojení N200, ovšem po odečtení



nákladů je zisk z ha TTP pouhých 15 Kč. Jako nejrentabilnější se ukazuje kontrolní varianta bez hnojení, která produkuje zisk 619 Kč z hektaru. Je také vypočítán ukazatel rentability, který dle Žáka (2002) udává, kolik přinese Kč každých 100 Kč nákladu. I v tomto případě je nejvýhodnější varianta bez hnojení.

**Tab. č.24 Výnosy, cena, zisk z TTP**

varianta		výnos z ha	cena	zisk z ha	rentabilita
1	KONTR	8,3	6 640	619	341
2	N	9,2	7 360	297	59
3	N50	9,6	7 680	271	51
4	N100	9,3	7 440	167	26
5	N150	9,1	7 280	6	1
6	N200	10,4	8 320	15	2

Pokud jde o cenu v případě vytápění rodinného domu, by cena TTP byla velice zajímavá. Ovšem tento výpočet je pouze orientační, vzhledem k tomu, že TTP by bylo potřeba dále zpracovat na brikety či peletky a cena by se v tomto případě navýšila. Zde je počítáno pouze s cenou, za kterou se travní porost vykupuje. Účinnost spalování je počítána ve výši 80 %.

**Tab. č. 24 Náklady na vytápění rodinného domu**

Zdroj tepla	Spotřeba	Jednotka	Cena za jednotku paliva	Jednotka	Celkový náklad
Dřevo: kotel bez automatické regulace	19,45	1prms	1 300,00	1prms	25 281,00
Uhlí: kotel s ručním přikládáním	10,49	tuna	2 990,00	1 tuna	31 353,00
Uhlí: automatický kotel	7,21	tuna	2 990,00	1 tuna	21 555,00
Plyn	3 000,00	m <sup>3</sup>	23,20	m <sup>3</sup>	69 696,00
Elektřina	31 328,00	kWh	3,00	kWh	92 417,00
Dřevěné pelety	7,02	tuna	5 200,00	1 tuna	36 527,00
TTP	11,5	tuna	800,00	1 tuna	9 200,00

## 5. Diskuse

Pokud jde o hnojení trvalých travních porostů, tak má jednak vliv na botanické složení a na jeho trvalost i produktivitu rostlin, které v tomto porostu rostou. Vysoký výnos lze získat z travních porostů pouze kvalitním hnojením, protože tyto porosty jsou velmi náročné na výživu. Také je nutné mít na paměti, že pokud jde o louky, tak se odstraněním biomasy živiny každý rok odstraňují, ovšem případě pastvin se část živin vrací do půdy v odpadech zvířat.

Hnojení porostu vysokými dávkami dusíku snižuje počet druhů a druhovou diverzitu travního porostu (Lepší, 2004), ale na druhé straně se podíl hodnotných trav vhodným hnojením zvyšuje (Skládanka a Hrabě, 2008). Simpsonův index diverzity na variantě hnojení N200PK nabývá nejnižších hodnot ve srovnání s variantami hnojenými nižšími dávkami dusíku, nebo nehnojenými (Mrkvička et al., 2006). Mrkvička a kol. (2008) potvrzují, že při nejvyšší úrovni hnojení N dochází k sukcesi druhů, přičemž výrazně převyšují nitrifilní dominanty *Alopecurus pratensis* a *Trisetum flavescens*. Soustavným použitím vysokých dávek dusíkatých hnojiv se zvyšuje pokryvnost vysokých trav na úkor nízkých druhů trav a ostatních agrobotanických skupin (Zechmeister et al., 2003). Dále Mrkvička a Veselá (2009) uvádí, že při vysoké dávce dusíku je možný výskyt ruderálních druhů.

Studie vlivu různé úrovně hnojení, které se prováděly, nepřinesly v případě spalování biomasy TTP průkazné výsledky. Prakticky hnojení ovlivňovalo kvalitu a výnos biomasy a tím i nepřímou energetický výnos. Některé studie zmiňované v článku „Bioenergy from permanent grassland – A review: 2. Combustion“ prokázaly vliv zvyšujícího se obsahu N na výnos (Landström et al., 1996; Ellerbrock, 2002; Mulkey et al., 2008), další však nikoliv (Christian et al., 2008; Mulkey et al., 2008). Prakticky lze shrnout, že v případě využití TTP jako tuhého paliva je vhodnější nízká úroveň hnojení, ne pro vyšší výnos, ale spíše pro udržení druhové biodiverzity.

Těmto poznatkům odpovídají i výsledky, které byly naměřeny v této práci. Nejvyšší výtěžnost energie z TTP byla naměřena při hnojení N150PK, kdy ve třech sečí byla výtěžnost energie 53 281 J/ha. Je tedy pravděpodobné, že při tomto způsobu hnojení již převládají právě ty druhy trav, které mají méně listů a vyšší stonky a obsahují více sušiny. Ovšem je zřejmé, že z ekonomického hlediska bude nejvýhodnější hnojení nejnižší dávkou dusíku N0PK, aby byla zachována biodiverzita a výnosnost byla na úrovni nehnojené kontroly.

I pro monokultury vytrvalých energetických trav , jsou doporučené úrovně hnojení dusíkem mírné. Po zavedení se doporučuje pro chudé půdy na úrovni asi 50 kg/ha pro prosa, ozdobnice a chrastici rákosovitou. Pro více úrodné půdy je hnojení dusíkem neefektivní (Lewandowski et al ., 2003 ). Také podle Prochnowa (2009b) je v případě extenzivně obhospodařovaných travních porostu vhodná pouze jedna seč ročně a nízká úroveň minerálního hnojení pro dosažení nejlepší možné kvality paliva.

Využívání travních porostů biomasy pro spalování je předmětem širokého výzkumu, ovšem v současné době se větší důraz klade na využití rostlinné biomasy pomocí anaerobní digesce pro potřeby bioplynových stanic. V případě přímého spalování dosavadní zkoušky ukázaly, že samotné traviny mohou být spalovány pouze ve velkých zařízeních s výkonem řádově stovky kW. Pro malá zařízení je nutné připravit komprimovaná směsná paliva, která se budou blížit svými spalnými vlastnostmi dřevním peletkám, aby je bylo možné spalovat ve stávajících zařízeních určených pro spalování dřevních pelet.

## 6. Závěr

Cílem diplomové práce bylo zjistit, jak má různá úroveň hnojení trvalého travního porostu vliv na obsah energie v biomase a celkové množství energie získané z jednotky plochy. Stanovená hypotéza potvrdila vliv hnojení na trvalý travní porost. Různě hnojený porost vykazoval odlišnou energetickou výtěžnost (výhřevnost v J/ha). Vliv hnojení na trvalý travní porost je tedy jasně prokazatelný.

Cíl diplomové práce byl naplněn, protože byl vyhodnocen vliv hnojení na obsah energie z biomasy trvalého travního porostu. Dosaženy byly tyto výsledky:

- energetická výtěžnost byla při všech sečích nejvyšší u varianty hnojení N150PK. Celková výhřevnost dosáhla v průměru ze čtyř měření v každé seči 53 281,5 J/ha.
- energetická výtěžnost nehnojené kontroly činila v případě celkového průměru 50 899 J/ha.
- v případě nízkých dávek hnojení se projevil efekt nižší výhřevnosti a v případě hnojení N0PK a N50PK bylo dosaženo výhřevnosti ve výši pouhých 99,7 respektive 99,6 % výhřevnosti nehnojené kontroly.
- hnojení N100PK a N200PK vykazovalo vyšší výhřevnost než nehnojená kontrola, ovšem výtěžnost energie o 1 respektive necelá 2 % nemůže být ekonomicky výhodné.
- při porovnávání jednotlivých sečích měla nejvyšší výhřevnost seč první.
- druhá seč ukázala, že v případě hnojení nižšími dávkami dusíku došlo ke snížení energetické výtěžnosti oproti seči třetí
- nehnojená kontrola prokázala nejvyšší výhřevnost v první seči, druhá a třetí seč pak byla energeticky rovnocenná.
- ekonomicky nejvýhodnější je ovšem výnos z nehnojené kontroly, v tomto případě je ukazatel rentability roven 341.

Závěrem lze konstatovat, že jako jediné vhodné se projevilo hnojení dusíkem N150PK. V tomto případě je energetická výtěžnost vyšší o více než 5 % oproti nehnojené kontrole. Pokud se bude uvažovat i ekonomická stránka nejvýhodnější je varianta bez hnojení. Nižší výnos je vyvážen nízkými náklady zemědělských operací, kdy není potřeba hnojivo a opeace k jeho aplikaci. Celkový výnos travního porostu ze třech sečí je v tomto případě ve výši 90 % průměru.



## 7. Seznam literatury

- CENEK, Miroslav. *Obnovitelné zdroje energie. 2.*, upr. a dopl. vyd. Praha: FCC Public, 2001. 208 s. ISBN 80-901985-8-9.
- ČITEK Jindřich, ŠANDERA Zdeněk, 1993. *Zaklady pastvinařství*, Praha: Institut výchovy a vzdělávání MZe ČR, 31 s., ISBN 80-7105-039-3
- HEJÁTKOVÁ, K. a kol.: *Metodická pomůcka. Kompostování přebytečné travní biomasy*.
- ZERA – Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s., Náměšť nad Oslavou, 2007 vyd. 1 ISBN 80-903548-6-6
- JANÁSEK, Pavel, 2005. *Možnosti energetického využití biomasy: sborník příspěvků ze semináře*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2005, 175 s. ISBN 80-248-0834-X.
- JEVIČ, Petr. *Udržitelná výroba a řízení jakosti tuhých paliv na bázi agrárních bioproduktů: metodická příručka*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008, 132 s. ISBN 978-80-86884-42-4.
- KAVKA, M. (eds.). 2006. *Normativy pro zemědělskou a potravinářskou výrobu* (Technologické, technické a ekonomické normativní ukazatele). ÚZPI Praha. Praha. 400 s. ISBN 80-7271-163-6.
- KOMÁREK, P., KOHOUTEK, A., FIALA, J., ODSTRČILOVÁ, V., NERUŠIL, P. (2005): Produkce a kvalita píče travních porostu v závislosti na zatížení skotem a frekvenci sečení. In: Kohoutek, A., Pozdíšek, J. (eds) „Kvalita píče z travních porostu“, VÚRV Praha-Ruzyně
- MOSKALÍK, J.; BALÁŠ, M.; LISÝ, M.; BOGDÁLEK, J., 2008. Tavení popele z biomasy. In *Energie z biomasy IX - Sborník příspěvků ze semináře*. 1. Brno: FSI VUT, s. 96-101. ISBN: 978-80-214-3803-3.
- MRKVIČKA, J., VESELÁ, M., HREVUŠOVÁ, Z. 2008. Změny floristického složení psárkového porostu. In: Fuksa, P. (ed.). *Aktuální témata v pícninářství a trávníkářství 2008*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha. s. 32 – 36. ISBN 978-80-213-1880-9
- MRKVIČKA, J., VESELÁ, M. 2009. Floristické změny agrobotanických skupin a dominance *Alopecurus pratensis* při dlouhodobém obhospodařování lučního porostu. In: Fuksa, P. (ed.). *Aktuální témata v pícninářství a trávníkářství 2009*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha. s. 63 - 68. ISBN 978-80-213-2032-1
- MURTINGER, K.; BERANOVSKÝ, J. *Energie z biomasy*. 1. vyd. Brno: ERA, 2006. 94 s. ISBN 8073660717
- NOSKIEVIČ, Pavel; KAMINSKÝ, Jaroslav, 1996. *Využití energetických zdrojů*. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Fakulta strojní, , 91 s. ISBN 80-7078-378-8

- OCHODEK, Tadeáš, 2005. *Možnosti energetického využití biomasy*, sborník. 1.vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 175s. ISBN 80-248-0834-X
- OCHODEK, T., KOLONIČNÝ, J., JANÁSEK, P., 2006. *Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy*. Vyd., Vysoká škola banská – Technická univerzita, Ostrava, ISBN 80-248-1207-X.
- OCHODEK, T., KOLONIČNÝ, J., BRANC, M., 2007. *Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy*. Vyd., Technická univerzita, Ostrava, ISBN 978-80-248-1426-1.
- PASTOREK, Zdeněk; KÁRA, Jaroslav a JEVIČ, Petr. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC Public, 2004, 286 s. ISBN 80-865-3406-5
- PETŘÍKOVÁ V., 2004. *Pěstování rostlin pro energetické účely*, Neoset, Praha, 32 s., ISBN 80-239-5497-0
- QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. 1. vyd. Praha: Grada, 2010. 296 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- SOUČKOVÁ, Helena a Jan MOUDRÝ. *Nepotravinářské využití fytomasy*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 2006, 95 s. ISBN 80-704-0857-X.
- SYROVÝ Otakar, 2008. Technologické systémy pro obhospodařování travních porostů v podmínkách horských oblastí LFA a svažitéch chráněných krajinných oblastí, Praha: VUZT, 76 s., ISBN 978-80-86884-41-7
- ŠANTRŮČEK Jaromir, 2001. *Základy pícninářství*: Praha: Česka zemědělska univerzita, 146 s., ISBN 80-213-0764-1
- ŠNOBL, Josef, 2004. *Rostlinná výroba 4*, 1. vyd. Praha: ČZU, 119 s., ISBN: 80-213-1153-3
- ŠROLLER, Josef, 1997. *Speciální fytotechnika*: Praha: EKOPRESS, 205 s., ISBN 80-86119-04-1
- ŽÁK, M. 2002. *Velká ekonomická encyklopedie*. Linde. Praha. 658 s. ISBN 80-7201-381-5.
- CHRISTIAN, D.G., RICHE, A.B., YATES, N.E., 2008. Growth, yield and mineral content of *Miscanthus x giganteus* grown as a biofuel for 14 successive harvests. *Industrial Crops and Products* 28, 320–327
- JENKINS, B.M., BAKKER, R.R., WEI, J.B., 1996. On the properties of washed straw. *Biomass and Bioenergy* 10, 177–200.
- KROMUS, S., 2004. The Green Biorefinery Austria – Development of an Integrated System for Green Biomass Utilization, *Chemical, Biochemical Engineering* 18 (1) 7–12
- LANDSTRÖM, S., LOMAKKA, L., ANDERSSON, L., 1996. Harvest in spring improves yield and quality of reed canary grass as bioenergy crop. *Biomass and Bioenergy* 11, 333–341



- LEPŠ, J. 2004. Variability in population and community biomass in a grassland community affected by environmental productivity and diversity. *OIKOS* 107 (1). 64 - 71
- LEWANDOWSKI, I., HEINZ, A., 2003. Delayed harvest of miscanthus – influences on biomass quantity and quality and environmental impacts of energy production. *European Journal of Agronomy* 19, 45–63.
- McLAUGHLIN, S.B., UGARTE, D.G., GARTEN, C.T., LYND, L.R., SANDERSON, M.A., TOLBERT, V.R., WOLF, D.D., 2002. High-value renewable energy from prairie grasses. *Environmental Science and Technology* 36, 2122–2129
- McKENDRY, P., 2002. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology* 83, 37–46.
- MRKVIČKA, J., et al., 2006. The changes of species richness and diversity of foxtail type stand during long-term fertilization. *Scientia agriculturae bohémica*. 37 (2). 41-48
- MULKEY, V.R., OWENS, V.N., LEE, D.K., 2008. Management of warm-season grass mixtures for biomass production in South Dakota USA. *Bioresource Technology* 99, 607–619.
- OBERNBERGER, I., 1998. Decentralized biomass combustion: state of the art and future development. *Biomass and Bioenergy* 14, 33–56.
- OBERNBERGER, I., BRUNNER, T., BÄRNTHALER, G., 2006. Chemical properties of solid biofuels – significance and impact. *Biomass and Bioenergy* 30, 973–982
- PROCHNOW, A., et al., 2009a. Bioenergy from Permanent Grassland – A Review: 1. Biogas. *Bioresource Technology* 100, 4931–4944.
- PROCHNOW, A., et al., 2009b. Bioenergy from Permanent Grassland – A Review: 2. Combustion. *Bioresource Technology* 100, 4945–4954.
- SKLÁDANKA, J., HRABĚ, F. 2008. Vliv hnojení a intenzity využití na druhovou skladbu, diverzitu a kvalitu travního porostu. *Agriculture*. 54 (1). 1 - 13
- SOUSSANA, J.F. et al., 2007. Full accounting of the greenhouse gas (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) budget of nine European grassland sites. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121, 121–134.
- TONN, B., et al., 2010. Semi-natural grassland biomass for combustion: influence of botanical composition, harvest date and site conditions on fuel composition. *Grass and Forage Science* 4, 383–397
- XIONG, S., ZHANG, Q.-G., ZHANG, D.-Y., OLSSON, R., 2008. Influence of harvest time on fuel characteristics of five potential energy crops in northern China. *Bioresource Technology* 99, 479–485.

ZECHMEISTER, H. G., et al., 2003. The influence of land-use practices and economics on plant species richness in meadows. *Biological conservation* 114. 165 – 177

ZIELENKIEWICZ, W. Calorimetry, Institute of Physical Chemistry of the Polish Academy of Sciences, Warszawa, 2005, 121-241.

CELJAK, Ivo: Biomasa je nezbytná součást lidského života. *Biom.cz* [online]. 2008-12-22 [cit. 2013-11-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-je-nezbytna-soucast-lidskeho-zivota>>. ISSN: 1801-2655.

FRYDRYCH, Jan, ANDERT, David, JUCHELKOVÁ, Dagmar: Výzkum využití trav pro energetické účely. *Biom.cz* [online]. 2012-10-22 [cit. 2014-02-23]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyzkum-vyuziti-trav-pro-energeticke-ucely>>. ISSN: 1801-2655.

FUKSA, Pavel, TLUKA, Petr, HAKL, Josef, HABART, Jan: Výtěžek bioplynu z biomasy jetelovin a trvalých travních porostů. *Biom.cz* [online]. 2011-03-28 [cit. 2014-02-05]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vytezek-bioplynu-z-biomasy-jetelovin-a-trvalych-travnich-porostu>>. ISSN: 1801-2655

MUŽÍK, O.;KÁRA, J.;ABRHAM, Z. *Možnosti využití produkce travních porostů anaerobní digesí*. 2006. Dostupné z WWW:

[http://svt.pi.gin.cz/vuztweb/doc/energetika/BP\\_TTR\\_PDF.pdf?menuid=486](http://svt.pi.gin.cz/vuztweb/doc/energetika/BP_TTR_PDF.pdf?menuid=486)

ODCHODEK, Tadeáš. *Metodická příručka ke studii „Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy*. [online]. 2013 [cit. 2013-08-14]. Dostupné z WWW:

<http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/prirucka1.pdf>

SCHMIDT, Martin: *Kalorimetrie* [online]. VŠCHT, 2006 [cit. 2013-08-14]. Dostupné z WWW: <http://www.vscht.cz/ktt/studium/predmety/lap/kalorimetrie.pdf>

SVĚTLÍK, Marek: Biomasa je součástí energetického mixu. *Biom.cz* [online]. 2013-07-08 [cit. 2013-08-14]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz-obnovitelne-zdroje-energie/odborne-clanky/biomasa-je-soucasti-energetickeho-mixu>>. ISSN: 1801-2655.

VRZALOVÁ, Jana. 2009 Využití travních porostů v krajině. *Úroda*, 2009. Dostupné z WWW: [http://www.uroda.cz/@AGRO/informacni-servis/Vyuziti-travnich-porostu-v-krajine\\_\\_s457x34913.html](http://www.uroda.cz/@AGRO/informacni-servis/Vyuziti-travnich-porostu-v-krajine__s457x34913.html)

WEGER, Jan: Biomasa jako zdroj energie. *Biom.cz* [online]. 2009-02-02 [cit. 2013-07-18]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-jako-zdroj-energie>>. ISSN: 1801-2655.

*Biomasa*. [online]. biomass technology 2009[cit. 2013-08-14]. Dostupné z WWW:  
[http://biomasstechnology.cz/wp/?page\\_id=183](http://biomasstechnology.cz/wp/?page_id=183)

EkoWATT. *Energie biomasy*. [online]. 2007[cit. 2013-08-14]. Dostupné z WWW:  
<http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-biomasy>

FAOSTAT, 2013. Dostupné z WWW:<http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>

MŽP. *Využívání pevné biomasy*. [online]. 2013[cit. 2013-08-14]. Dostupné z WWW:  
[http://www.mzp.cz/cz/vyuzivani\\_pevne\\_biomasy](http://www.mzp.cz/cz/vyuzivani_pevne_biomasy)

*Logistika biomasy*[online]. biomass technology 2009[cit. 2013-08-14]. Dostupné z WWW:  
[http://biomasstechnology.cz/wp/?page\\_id=201](http://biomasstechnology.cz/wp/?page_id=201)

*Vlastnosti biomasy z hlediska vhodnosti pro spalování*. [online]. 2013[cit. 2013-08-14].  
Dostupné z WWW:  
[http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD\\_Biomasa\\_nove/Pdf/VlastnostiBiomasy.pdf](http://www1.vsb.cz/ke/vyuka/FRVS/CD_Biomasa_nove/Pdf/VlastnostiBiomasy.pdf)