

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Zemědělská fakulta**

Obor: Agroekologie

Katedra: Biologických disciplín

**Využitelnost fytomasy vybraných mokřadních
porostů pro energetické účely**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce:
RNDr. Hana Čížková, CSc.

Autor:
Šárka Boučková

2009

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Využitelnost fytomasy vybraných mokřadních porostů pro energetické účely vypracovala sama a použila jen pramenů, které cituji a které uvádím v příloženém soupisu literatury.

Souhlasím, aby práce byla uložena v knihovně JCU a zpřístupněna ke studijním účelům.

V Českých Budějovicích, dne 17.4. 2009.

Podpis:

Poděkování:

Chtěla bych poděkovat paní Doc. RNDr. Haně Čížkové, CSc., za odborné vedení, konzultace a za veškerý čas, který mi věnovala.

Anotace

Náplní mojí bakalářské práce bylo podat přehled způsobů využívání biomasy v České republice. Podrobněji jsem se zabývala výrobou bioplynu z rostlinné hmoty. Úkolem bylo zjistit, zda je pěstování rostlinné biomasy pro výrobu bioplynu dlouhodobě únosné z energetického hlediska.

Studovaná lokalita se jmenuje Mokré louky u Třeboně. Tuto lokalitu obhospodařuje firma K+K Břilice. Od této firmy jsem získala důležité informace, které jsem potřebovala pro výpočet energetické bilance.

Z výpočtu energetické bilance vyplynulo, že výroba bioplynu z lokality Mokřích luk u Třeboně je energeticky rentabilní. V porovnání s pěstováním kukuřice na siláž jsou náklady na výrobu bioplynu poloviční.

Anotation

The aim of my thesis was to present summary of methods how a biomass is being used in the Czech Republic. I focused especially on biogas produced from plant mass. The task was to find out whether growing plant biomass is sustainable in the long run from the energy perspective.

Locality I chose to analyse is known as Mokré louky. This 450ha area is controlled by K + K Břilice - Gigant, spol. s r.o. and can be found near the town of Třeboň. This company provided me with detailed information I used to calculate energy budget.

In respect to my calculation of the energy budget, the **biogas** production technology used in the locality of Mokré louky is economically feasible in the long. Moreover, when compared to corn silage used for biogas production which is also economically feasible in general, the costs are cut by half.

1. Úvod.....	7
2. Literární přehled.....	8
2.1. Současné způsoby využití fytomasy pro energetické účely....	8
2.1.1. Důležité pojmy.....	8
2.1.2. Výčet rostlin.....	8
2.1.3. Způsoby využití fytomasy.....	9
2.1.3.1. Přímé spalování fytomasy.....	9
2.1.3.2. Nepřímé využití fytomasy: výroba bioplynu.....	10
2.1.4. Přehled dosavadních zkušeností s energetickými rostlinami v ČR.....	13
2.1.4.1. Šťovík krmný (Rumex).....	13
2.1.4.2. Chrastice rákosovitá (Phalaris arundinacea, syn. Phalaroides arundinacea, Baldingera arundinacea).....	14
2.1.4.3. Rychle rostoucí dřeviny – topoly a vrby (rody Populus a Salix).....	16
2.2. Možnosti využití extenzivně obhospodařovaných travinných porostů.....	19
2.2.1. Kosení (seč).....	19
2.2.2. Mulčování.....	21
2.2.3. Pastva	21
2.3. Technologie energetického využití travinné fytomasy.....	23
2.3.1. Seč.....	23
2.3.2. Shrnování.....	24
2.3.3. Řezání.....	24
2.3.4. Doprava	25
2.3.5. Konzervace a uskladnění fytomasy.....	25
2.3.6. Uskladnění digestátu.....	26
2.4. Principy hodnocení energetické účinnosti využití fytomasy...26	
2.4.1. Základní pojmy a definice.....	27
2.4.1.1. Výrobní proces.....	27
2.4.1.2. Technologický postup.....	27
2.4.1.3. Energetické výrobní vstupy.....	27
2.4.1.4. Energetické výstupy.....	28
2.4.1.5. Energetická bilance.....	29
2.4.1.6. Energetický zisk.....	30
3. Popis modelové lokality Mokřích Luk u Třeboně.....	31
4. Metody.....	33
5. Výsledky.....	35
6. Diskuse.....	39
7. Závěr.....	41

1. Úvod

Vytápění budov je jedna z našich nejdůležitějších životních potřeb. Bohužel, v poslední době se topení stále více prodražuje. Po několikerém zvýšení cen plynu i elektřiny se lidé začínají vracet k tradičnímu dřevu nebo uhlí. Návrat k uhlí je obecně velmi nežádoucí, protože se tak neúnosně znečišťuje ovzduší. Často stačí 2 – 3 komíny, které mohou znečistit kouřem celé údolí či krásnou okolní krajinu. Tradiční dřevo není rovněž jednoznačné řešení, protože palivového dřeva začíná být pomalu nedostatek.

Již řadu let se u nás snažíme prosadit využívání biomasy pro energetické účely. Jinak řečeno: používat rostlinnou hmotu, tedy biomasu, k vytápění budov či k výrobě elektřiny, ale zatím pouze s malým úspěchem. Jedním z důvodů byl nedostatek zkušeností a informací. Cílem předkládané práce je proto:

- (1) podat přehled o zkušenostech s energetickým využitím biomasy, zejména v podmínkách ČR;
- (2) shromáždit podklady potřebné pro zhodnocení energetické účinnosti zpracování travinné fytomasy na bioplyn pro vybranou mokřadní lokalitu (Mokré Louky u Třeboně);
- (3) porovnat vybrané položky energetické bilance zpracování fytomasy na bioplyn pro studovaný mokřadní porost a pro porost kukuřice pěstovaný standardní agrotechnikou.

2. Literární přehled

2.1. Současné způsoby využití fytomasy pro energetické účely

2.1.1. Důležité pojmy

Pojem biomasa označuje veškerou organickou hmotu vzniklou prostřednictvím fotosyntézy (Dykyjová 1989), nebo hmotu živočišného původu. Tímto pojmem je často označována rostlinná biomasa využitelná pro energetické účely jako obnovitelný zdroj energie (Chmelík K. 1996).

Pojem fytomasa zahrnuje veškeré organické látky rostlinného původu vznikající v přírodě v průběhu fotosyntézy (Havlíčková et al. 2008).

Zájem o využití fytomasy pro energetické účely podnítil rozvoj technologického oboru zvaného fytoenergetika (např. Součková a Moudrý 2005, Havlíčková et al. 2008). Je to souhrn technologií umožňujících energetické využívání biomasy. Jde především o přímé spalování v domovních kotlících či v kotlích centrálního zásobování teplem (Sladký 1996).

2.1.2. Výčet rostlin

Pro fytoenergetické účely se používají rychlerostoucí dřeviny. Mezi tyto rostliny patří topoly, vrby, pajasan, jilmy, olše, lípy, lísky, jeřáby. Topoly a vrby jsou z hlediska fytoenergetiky ověřené. Pajasan a jilmy jsou v dnešní době ověřovány. Ve fytoenergetice se také využívají jednoleté, víceleté a vytrvalé rostliny. Mezi jednoleté fytoenergetické rostliny patří z obilnin tritikale (*Triticale*) a ozimé žito (*Secale cereale*), sudanská tráva, konopí seté, laskavec, sléz krmný, světlice barvířská a lnička setá. Mezi víceleté a vytrvalé fytoenergetické rostliny patří pupalka dvouletá (*Oenothera biennis L.*), komonice bílá (*Melilotus alba*), slunečnice topinambur (*Helianthus tuberosus L.*), šťovík krmný (*Rumex*) a čičorka pestrá (*Coronilla varia*) a dále

fytoenergetické trávy. Mezi fytoenergetické trávy patří chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*), kostřava rákosovitá (*Festuca arundinacea*), psineček veliký (*Agrostis gigantea*), ovsík vyvýšený (*Arrhenatherum elatius*), sveřep samužníkovitý (*Bromus catharticus*) a sveřep bezbranný (*Bromus inermis*). Nejvýznamnější z těchto rostlin je šťovík krmný (Součková a Moudrý 2005, Havlíčková et al. 2008).

2.1.3. Způsoby využití fytomasy

Energii z biomasy lze získávat různými způsoby, a to přímo – spalováním, nebo nepřímo – výrobou paliv a zpracováním na plynné či kapalně produkty. Energii lze pak využívat pro výrobu tepla nebo elektřiny, nebo jako biopaliva (bionafta, bioplyn). Pro vytápění se používá zejména přímého spalování fytomasy. Je také možné využívat energii z odpadní biomasy (zbytky krmiv, potravin, hnůj...). V tomto případě je nejběžnější technologií výroba a další využití bioplynu (Kára et al. 2001, Sladký 1996).

2.1.3.1. Přímé spalování fytomasy

Ve velkých provozech tepláren či elektráren se pro přímé spalování fytomasy používá nejčastěji dřevní štěpka nebo sláma. Pro vytápění menších budov, jako např. rodinných domů je nutné biomasu upravit do vhodné formy, schopné manipulace při přikládání do kamen či krbů Sladký (1996). K takovým formám patří brikety a pelety.

Brikety mají válcový tvar, jsou dlouhé cca 30 cm a lze je s úspěchem použít obvyklým způsobem, jako při přikládání polen ze dřeva. Výhřevnost je velmi dobrá, v podstatě se neliší od běžného dřeva. Brikety se vyrábí lisováním z řezanky přímo sklizené z pole, bez přídavku jiných materiálů. Vedle dlouhých briket lze vyrábět na jiném typu lisu též brikety kratších

rozměrů. Příkladají se do kamen obdobně jako kusové uhlí. Na rozdíl od uhlí jsou brikety z biomasy mnohem čistší, nezatěžují okolí škodlivými emisemi a mají oproti uhlí velmi nízký obsah popela. Tento popel lze použít jako hnojivo na zahradu nebo na pole (Chmelík 1996)

Podobné vlastnosti mají i tzv. pelety. Jsou to drobné granule, tvarované na lisech, kde se běžně vyráběly krmné granule pro hospodářská zvířata. Dále jsou již i u nás vyvinuty speciální lisy, určené výhradně k výrobě topných pelet z biomasy. Pelety mají zpravidla průměr 0,8 až 1 cm, dlouhé jsou 1 až 3 (4) cm. Výhodou pelet je možnost jejich automatického přikládání do speciálně konstruovaných kotlů (Sladký 2001).

2.1.3.2. Nepřímé využití fytomasy: výroba bioplynu

Bioplyn je plyn produkovaný během anaerobní digesce organických materiálů a skládající se zejména z metanu (CH_4) a oxidu uhličitého (CO_2). Jeho typické složení je uvedeno v tabulce č.1. Energeticky hodnotný je v bioplynu metan a vodík. Problematickými jsou sirovodík a čpavek, které je často nutné před energetickým využitím bioplynu odstranit, aby nepůsobily agresivně na strojní zařízení (Kára et al. 2001, Gaduš a Šágrová 2005).

Bioplyn je produkovaný zejména v:

- přirozených prostředích, jako jsou mokřady, sedimenty, trávící ústrojí (zejména u přežvýkavců),
- zemědělských prostředích, jako jsou rýžová pole, uskladnění hnojů a kejdy,
- odpadovém hospodářství na skládkách odpadů (zde je označován jako skládkový plyn), na anaerobních čistírnách odpadních vod (ČOV) a v bioplynových stanicích.

Bioplyn z bioplynových stanic, ČOV a některých skládek je používán k výrobě:

- tepla,
- tepla a elektřiny (kogenerace) - toto je nejčastější případ,
- tepla, elektřiny a chladu (trigenerace) - trigenerace je využívána jen výjimečně.

Tabulka. č. 1. Složení bioplynu (Zdroj: Kára et al. 2001, Gaduš a Šágrová 2005).

Sloučenina	Obsah (% obj.)
Metan	40-75
Oxid uhličitý	25-55
Vodní pára	0-10
Dusík	0-5
Kyslík	0-2
Vodík	0-1
Čpavek	0-1
Sulfan	0-1

Bioplyn obsahuje přibližně jen 2/3 metanu a proto má i nižší výhřevnost. Získává se zpracováním nejrůznějších organických odpadů a zbytků či ze záměrně pěstované biomasy. Dobře se zpracovávají zejména snadno zkvasitelné látky a například siláž vykazuje podobnou kvalitu jako hmota před silážováním (Kára et al. 2001, Gaduš a Šágrová 2005).

Existují dva hlavní způsoby výroby bioplynu, které se liší především v obsahu sušiny vstupních látek. Takzvaná suchá digesce spočívá v tom, že se hmota s obsahem sušiny přes 20% naveze na rošty do hermeticky uzavíratelného kontejneru nebo budovy. Hmota je pak zkrápěna cirkulující kapalinou (Kára et al. 2001, Gaduš a Šágrová 2005).

Mokrý digesce se používá u látek se vstupním obsahem sušiny pod 12%. Do materiálů s výrazně nízkým obsahem sušiny je možno přimíchávat sušší hmotu. Je to typická technologie pro zpracování kejdy a kalů (Kára et al. 2001, Gaduš a Šágrová 2005).

V obou případech je udržována vhodná teplota, což u mezofilních bakterií je přibližně 40 °C a je regulována kyselost tak, aby pH reakce byla zhruba neutrální. U mokré digesce může být proces rozdělen i technologicky do několika fází. Lze tak zvýšit kvalitu i výtěžnost plynu, ovšem za cenu vyšších investic do zařízení. Zdržení hmoty v reaktorech je kolem 20 dnů. Po této době dojde k vyprázdnění zbývající hmoty. Tekutá část (fugát) i tuhý podíl (digestát) lze použít jako hnojivo na pozemky (Kára et al. 2001, Gaduš a Šágrová 2005).

Bioplyn je pak dále možno používat k výrobě elektřiny a tepla v takzvaných kogeneračních jednotkách. Spalovací motor má účinnost kolem 40%, a tak při jeho využití v automobilech 60% energie paliva uniká do prostředí ve formě tepla. U stabilních motorů můžeme odvádět a využívat i teplo a tím zvýšíme účinnost celého zařízení. Pouhé spalování plynu pro výrobu tepla je plýtvání takzvanou vysokopotenciálovou energií, kterou plyn má. Kogenerací dosáhneme nejlepšího využití energie (Kára et al. 2001, Gaduš a Šágrová 2005).

Je třeba si uvědomit, jak s odpadním teplem naložit. Teplota chladicí vody je zhruba 85-90 °C a lze ji například použít pro sušení produktů nebo pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody. V poslední době se prosazuje i trigenerace. Jde o použití principu, který je využíván u absorpčních ledniček, a vytváří se tak chlad například pro klimatizaci (Kára et al. 2001, Gaduš a Šágrová 2005).

Výroba bioplynu má v naší zemi delší tradici jen na čistírnách odpadních vod. Představuje však dobrou možnost využití vedlejších produktů zemědělské výroby, při níž se zároveň zredukuje úniky metanu a čpavku

z kejdových hospodářství. Možná bude i možností likvidace odpadních vod v některých obcích (Kára et al. 2001, Gaduš a Šágrová 2005).

2.1.4. Přehled dosavadních zkušeností s energetickými rostlinami v ČR

2.1.4.1. Šťovík krmný (*Rumex*)

Pro zajištění biomasy cíleným pěstováním rostlin má dosud největší význam krmný - energetický šťovík, Rumex OK 2. V současnosti je v ČR pěstován na celkové výměře asi 1300 ha.

Krmný šťovík Uteuša - Rumex OK 2 je kříženec šťovíku zahradního a tjanšanského, vyšlechtěného na Ukrajině v botanické zahradě Akademie věd v Kijevě, prof. Uteušou a Dr. Rachmetovem. Pro své vlastnosti je jednou z nejperspektivnějších plodin, záměrně pěstovaných pro energetické účely. Jeho předností je zejména vytrvalost. Lze jej pěstovat na jednom stanovišti po dobu deseti a více let. Plně zapojený porost tohoto energetického šťovíku je závislý zejména na způsobu jeho založení a na jeho ošetřování během vegetace. Půdně-klimatické podmínky nejsou vyhraněné, byl úspěšně pěstován až do výšky 650 m n. m. Není náročný na typy půd, nevyhovující jsou pouze podmáčené půdy s vysokou hladinou spodní vody. Hluboký kořen ve stojaté vodě zahrňuje a celá rostlina pak odumře.

Biomasa šťovíku byla hodnocena z hlediska paliva. Laboratorní testy zajištěné v Běchovicích v Ústavu pro využití paliv prokázaly, že jsou všechny zjišťované parametry přibližně shodné s dřevní biomasou, včetně vysoké teploty tavitelnosti popelů (na rozdíl např. od slámy). Odpovídající výhřevnost a emisní hodnoty byly zjištěny i v několika typech provozních kotlů. Po celou dobu hodnocení byly emise NO_x platné pro ČR hluboko pod limitem. Emise CO byly mírně zvýšeny spalováním šťovíku.

I když se jedná zatím jen o výsledky orientační, byl vysloven názor, že by zřejmě bylo možné bez problémů spalovat šťovík v kotlích určených pro spalování balíků obilní slámy. Podobné výsledky byly získány při spalování šťovíkové řezanky. Bylo spáleno celkem 28 tun šťovíkové biomasy. Během celé doby spalování nebyly pozorovány žádné změny oproti spalování tradičního dřeva. Uvedené výsledky nasvědčují tomu, že energetický šťovík je vhodné fytopalivo, které lze spalovat i v kombinaci se slámou, nebo i dřevní štěpkou. Bude ale třeba tyto výsledky prokázat i při dlouhodobějším spalování, až bude šťovíkové biomasy dostatek.

Souhrnně lze konstatovat, že šťovík - Rumex OK 2 je jedna z nejvýznamnějších energetických rostlin. V provozu je sledován již šestým rokem, ale přesto je třeba stále ještě jeho pěstitelkou technologii doplňovat a upřesňovat. Cílem dalšího zdokonalování agrotechnických zásad je získat spolehlivě výnosy alespoň 8 až 10 t/ha. K tomu lze přispět některými zásahy, např. zvýšený výsev, podzimní setí (<http://www.biom.cz>).

2.1.4.2. Chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*, syn. *Phalaroides arundinacea*, *Baldingera arundinacea*)

Chrastice rákosovitá patří do čeledi lipnicovité (*Poaceae*). Chrastice je vytrvalá tráva, která vytváří podzemní výběžky. Její výška stébla přesahuje 2 metry. Stéblo chrastice je zakončeno jednostrannou latou. Kořenový systém je mohutný a dosahuje velké hloubky. Chrastice vytváří oddenky, které jsou dlouhé a jsou uloženy těsně pod povrchem půdy. Je náročná na vodu a živiny. Je rozšířená na celém území našeho státu, převážně na vlhkých lokalitách. Nejčastěji roste v okolí vodních toků. Je odolná proti drsným klimatickým podmínkám. Vyhovují jí půdy s vyšší zásobou živin. Pro chrastici není zastínění ani krátkodobé zavodnění limitujícím faktorem (Hron a Zejbrlík 1979).

Chrastice rákosovitá se pěstuje na semeno, píci a pro energetické účely. Chrastice je nenáročná na agrotechniku. Porost chrastice se zakládá na nezapleveleném pozemku. Seje se po všech předplodinách. Chrastice je odolná vůči škůdcům i vůči chorobám (Havlíčková et al. 2008).

Chrastice pro energetické účely se seje do užších řádků 12,5 – 30 cm. Výsevek pro čistou kulturu je 20 – 25 kg . ha⁻¹. Na jedné lokalitě lze chrastici pěstovat i několik let. Ve Švédsku byly získány výnosy za pětileté pěstování 9 t . ha⁻¹ na konci vegetační sezóny a 7,5 t . ha⁻¹ na jaře. Přes zimní období dochází ke ztrátám, které se pohybují kolem 25 %. Z fytomasy lze lisovat brikety a pelety. Další z možností zpracování je přímé spalování a výroba bioplynu. Pro výrobu bioplynu se používá chrastice s obsahem sušiny pod 35 %. Chrastice pro tento účel se sklízí 2 – 3x za rok. Termíny sečení jsou v době největšího nárůstu fytomasy. Zejména pozdě na podzim nebo brzy na jaře. V prvním termínu sklizně získáváme fytomasu s obsahem vody 60 – 80 %. Ve druhém termínu sklizně je tato hodnota v rozmezí 30 – 70 %. Tato čerstvá fytomasa je vhodná na zpracování pro výrobu bioplynu. Pro přímé spalování a pro výrobu pelet a briket je nutné fytomasu dosušet. Dosoušení se provádí za příznivého počasí přímo na poli a nebo lze fytomasu dosušet v sušárnách. Toto dosoušení a především dosoušení v sušárnách má za následek zvýšení dodatečných nákladů, které následně ovlivňují ekonomiku pěstované plodiny. Sklizená fytomasa na jaře s obsahem vody pod 20 % je vhodná pro lisování briket a pelet. Fytomasa s touto vlhkostí je vhodná i k přímému spalování, popřípadě i ke skladování. Během zimy chrastice nepoléhá, což je pozitivní pro následnou sklizeň na jaře (Havlíčková et al. 2008).

Pěstování chrastice rákosovité poskytuje několik výhod. Hustý kořenový systém zpevňuje půdu. Zapojený travní porost zabraňuje erozi. Chrastice zlepšuje fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdy. Z finanční stránky není zakládání porostu náročné. Chrastice nebývá často zaplevelená, a proto nevyžaduje ošetřování herbicidy a ani pesticidy. Může se pěstovat ve

většině klimatických podmínek od nížin až po hory (Havlíčková et al. 2008).

2.1.4.3. Rychle rostoucí dřeviny – topoly a vrby (rody *Populus a Salix*)

Topoly a vrby se pěstují na zemědělské orné půdě na tzv. výmladkových plantážích. Rychle rostoucí dřeviny patří v Evropě mezi perspektivní plodiny. V Evropě se v současné době pěstuje přes 30 000 ha vrbových a topolových plantáží. V našem státě bylo dosud založeno přes 250 ha topolových plantáží. Topoly jsou rozšířeny zejména v mírném pásu severní polokoule. Hlavní oblasti výskytu jsou Evropa, Severní Amerika a Východní Asie. Zde se vyskytuje 35 druhů topolů. Vrby se vyskytují téměř ve všech světadílech, kromě australsko – novozélandské oblasti a Antarktidy. Jedná se o 350 druhů keřového a jen asi 4 druhy stromovitého vzrůstu. V naší republice se vyskytuje 26 druhů vrb, které lze dále mezi sebou křížit. Křížením bylo u nás získáno okolo 30 spontánních kříženců (Havlíčková et al. 2008).

Vrby a topoly jsou samostatné rody (*Populus a Salix*). Rychle rostoucí dřeviny jsou listnaté stromy a keře. Vyznačují se nenáročností na půdu. Jsou závislé na zásobě podzemní nebo srážkové vody. Topoly a vrby patří mezi dvoudomé rostliny. Jejich květenstvím jsou jehnědy. Jejich plodem je 2 – 4 chlopnová tobolka. Semena jsou malá a jsou opatřena chmýřím. Topol je opylován větrem a vrby hmyzem. Topol má dřevo světlé, lehké, měkké a dobře se štípe. Dřevo vrb je oproti topolu více ohebné. Topoly a vrby mají objemovou hmotnost dřeva v rozmezí 470 – 530 kg . m⁻³ (Havlíčková et al. 2008).

Hlavním požadavkem rychle rostoucích dřevin je, aby v dosahu jejich kořenového systému byl dostatek vody. Jejich kořeny jsou totiž schopny získávat vodu a živiny z velkých hloubek. Nejsou náročné na obsahu živin v ornici. Topoly a zejména pak vrby dobře snášejí i dočasné zaplavení po

dobu 30 – 60 dní. Dávají dobrý výnos i na méně vhodných stanovištích. Například topol černý (*Populus nigra*) a topol Simonův (*Populus simonii*) vyskytující se přirozeně ve stepních velmi suchých oblastech. Vrby a topoly rostou špatně na půdách zrašeliněných, silně propustných, vysychavých a extrémně chudých. Jedná se o světlomilné rostliny, kterým stálé zastínění nevyhovuje. Za těchto podmínek vykazují pomalejší růst a nižší výnosy. Pro zakládání porostů je nejvyšší možná nadmořská výška 650 m n. m. (Havlíčková et al. 2008).

Příprava pozemku musí začít rok dopředu před výsadbou, aby se pozemek dokonale odplevelil. Před výsadbou se provádí kvalitní podzimní orba, na jaře již stačí pozemek jen zkultivovat popřípadě vyrovnat. Nejčastěji se vysazují řízky, které jsou nařezány z jednotlivých prýtů (prutů, výhonů). Řízky se skladují do výsadby ve vhodných skladovacích prostorách s optimální teplotou 2 – 4 °C a s vysokou vzdušnou vlhkostí. Před samotnou výsadbou se řízky namáčejí na 48 hodin do vody, která má venkovní teplotu. Toto opatření se provádí na stinném místě, např. ve stodole nebo ve skladu. Porosty se vysazují do jednořádků ve sponech (0,5 – 0,3 m) x (1, 5 – 3 m mezi jednořádky). Druhou možností je výsadba do dvouřádků ve sponech (0,75 x 0,75 m) x (1,5 m mezi dvojřádky). Výmladkové plantáže mají nejčastěji hustotu v rozmezí 6 000 – 15 000 ks . ha⁻¹. Řízky topolů a vrb jsou nejčastěji vysazovány od poloviny března do konce dubna. Podzimní termín výsadby je méně ověřený a méně častý. Výsadba se provádí manuálně a mechanicky. Při manuální výsadbě se řízky zapichují rovně nebo mírně šikmo do připravené půdy. Řízek smí maximálně 3 cm vyčnívat nad povrch půdy. Na těžkých půdách může vyčnívat o něco více a to maximálně do 5 cm nad povrchem. Je nutné vysazovat řízky tak, aby pupeny směřovaly nahoru. Při mechanizované výsadbě je postup závislý na typu sazeče, který je řazen za traktorem. Řízek smí maximálně 5 cm vyčnívat nad povrchem půdy. Cílem je dosáhnout 70 % ujímavosti řízků. Následné dosazování je velmi náročné a nákladné. Většina orné půdy na území naší republiky je pro topoly a vrby dostatečně zásobena živinami, proto se nemusí hnojit průmyslovými hnojivy.

V ojedinělých případech se přihnojuje na chudých lokalitách. Při zakládání porostu se nedoporučuje hnojit proto, že se spíše podpoří rozvoj a nárůst plevelů. Nejlépe po dosažení by se mělo odplevelovat. V řádcích se odpleveluje ručně. Mezi řádky se zbavujeme plevelů mechanicky, nejčastěji sečením nebo plečkováním. Odstraňování plevelů se provádí 2 – 3 x ročně. Při kvalitním založení porostu jsou agrotechnické zásahy ojedinělé a nebo žádné. Při vyšším výskytu zvěře se vyplatí výsadbu celou oplotit. Houbové choroby a hmyzí škůdci nepůsobí vážnější škody (Havlíčková et al. 2008).

Sklizeň se provádí v tzv. velmi krátkém obmýtí, které u nás trvá 3 – 6 let. Například plantáž stará 20 let již byla 4 – 8 x sklizena. Sklízí se v zimním období (prosinec – březen), kdy je obsah vody v rostlinných pletivech nejnižší. Zmrzlá půda je pro sklizeň vhodná, pojezd po pozemku je snazší. Rozlišují se dva typy sklizní, a to vícefázová a jednofázová. Vícefázová sklizeň zahrnuje práci mechanizačních zařízení a manuální práci. Na řezání kmenů se používá přídatné zařízení na traktor. Při menších rozlohách pozemku lze použít křovinořez nebo motorovou pilu. Rostlinná hmota se nechá 2 – 6 měsíců proschnout a poté se naštěpkuje štěpkovačem. Získá se tak dostatečně suchá štěpka s obsahem vody okolo 30%. Při jednofázové sklizni se používají samojízdné sklízecí stroje, které vyrábějí dřevní štěpku přímo na poli. Tato štěpka ale obsahuje více vody (50%) (Havlíčková et al. 2008).

Cílem pěstování rychle rostoucích dřevin je získání dřevní štěpky nebo palivového dříví (polena nebo krátké kusové dřevo). Výhřevnost je závislá na vlhkosti získaného produktu. Výhřevnost dosahuje hodnot i okolo 17 GJ . t⁻¹. Štěpka se využívá především v centrálních teplárnách a výtopnách. V úvahu připadá i spalování štěpky s uhlím v elektrárnách (Havlíčková et al. 2008).

2.2. Možnosti využití extenzivně obhospodařovaných travinných porostů

Trvalé travní porosty pokrývají v zemích Evropské unie 51 milionů ha půdy, tzn. 31% zemědělské půdy. V roce 2005 v České republice činil podíl TTP 209 956 ha (Konvalina, 2007). V současné době jsou TTP obhospodařovány třemi způsoby, případně jejich kombinací: kosením, mulčováním, a pastvou.

2.2.1. Kosení (seč)

Kosení je tradiční metoda, která se prvotně využívala k získání krmiva pro hospodářská zvířata, druhotně pro udržování druhové skladby a struktury porostu v optimálním stavu a to jak z hlediska ekonomického, ekologického i estetického (Vostoupal et al. 2007).

Období a počet sečí jsou voleny s ohledem na optimální technickou zralost píce (tj. kompromis mezi kvalitou a výnosem píce) a jsou přizpůsobeny nadmořské výšce, klimatickým a půdním podmínkám, typu stanoviště a typu porostu (Vostoupal et al. 2007).

Při obhospodařování některých TTP je seč kombinována s pastvou. Pokud se TTP využívají pro produkci píce, seče se následujícím způsobem:

1. jarní seč začíná v první polovině května a trvá do poloviny června,
2. seč se uskutečňuje 40 dní po 1. seči (u trojsečných porostů) nebo 60 dnů po první seči (u dvojsečných porostů), tj. od 21. června do 1. srpna,
3. pozdně letní seč se uskutečňuje 40 – 45 dnů po 2. seči, tj. od 1. srpna,
4. pozdní seč je méně častá a uskutečňuje se po 10. září

Počet sečí závisí na podmínkách stanoviště. V nížinných oblastech v klimaticky příznivých oblastech, na stanovištích dobře zásobených vodou a živinami se seče 2 až 3krát ročně (Vostoupal et al. 2007).

Osobitý systém seče se volí u ochránářsky zajímavých stanovišť, kde je cílem zachování vzácných druhů rostlin. V těchto případech se ke každé lokalitě přistupuje individuálně, s ohledem na mnoho okolností jako je např. typ biocenózy, charakter počasí v dané oblasti apod. (Vostoupal et al. 2007).

Při potřebě eliminovat invazní nebo ruderální druh rostliny musí být seč načasovaná před nebo ve fenofázi květu tohoto druhu. Zvláště to platí pro druhy rostlin, které se nerozrůstají vegetativně (např. rod *Atriplex*, *Carduus*, *Cirsium*, *Chenopodium* apod.) (Vostoupal et al. 2007).

U druhů rostlin, které se šíří vegetativně, je potřeba kosit vícekrát za vegetační sezónu (např. *Urtica dioica*, *r. Solidago*, *Reynoutria* apod.) (Vostoupal et al. 2007).

Optimální výška seče je ovlivněna využíváním TTP. Z hlediska produkčního se volí výška 4 cm nad zemí. Příliš nízká seč narušuje přízemní růžce některých druhů rostlin (např. *Taraxacum sp.*, *Achillea sp.* apod.). Tím se podpoří jejich vegetativnímu zmnožení a šíření v porostech. Nízká seč na druhé straně umožňuje uchycení konkurenčně slabších druhů a napomáhá růstu semenáčků (Vostoupal et al. 2007).

2.2.2. Mulčování

Mulčovače jsou stroje, které drtí travní hmotu na malé části. Posečená travní hmota není z porostu odstraňována, ale postupně vysychá, zmenšuje svůj objem a zapadá mezi stébla strniště. Mulčování lze provádět u méně výnosných, extenzivně využívaných travních porostů, ale i u zaplevelených travních porostů, avšak vždy před dozráním generativních orgánů plevelných

druhů. Využití mulčování jako údržbové technologie je však potřeba zvážit u porostů s výskytem vzácných druhů rostlin (Vostoupal et al. 2007).

Přednosti mulčování:

- urychluje dorůstání a zmlazování porostu
- rozdrčený mulč je rovnoměrně rozptýlen po povrchu a dodaný do půdy ve formě organických zbytků
- podzimní mulčování chrání porost v zimním období a přispívá k urychlenému růstu na jaře, porost je dřív připravený na pastvu, mulč se v zimě příznivě rozkládá
- mulčování je minimalizovaná pracovní operace, nevyžaduje odvoz nedopasků (Vostoupal et al. 2007).

2.2.3. Pastva

Pastva je dalším způsobem údržby travních porostů. Pasení zvířat je významným krajino tvorným činitelem a zároveň je to nejpřirozenější způsob přijímání potravy přežvýkavci. Z hlediska zdravotního stavu pastva podporuje rozvoj trávicího traktu přežvýkavců, který je pak schopen zpracovat živiny z velké dávky objemových krmiv. S pasením je spojen i pohyb, který optimalizuje funkci a činnost trávicího traktu, zlepšuje krevní zásobování nejen svalové soustavy, ale i celého organismu. Látková výměna je intenzivnější a pod vlivem déletrvajících pobytu na denním světle se stupňuje i aktivita gonádotropních hormonů u dospívajících a dospělých pastevních zvířat. Tento způsob využívání travních porostů je výhodný nejen z hlediska ekonomického, ale i zdravotního a hygienického, protože má pozitivní vliv na zdravotní stav zvířat, jejich odolnost vůči stresu a chorobám (Vostoupal et al. 2007).

Intenzitu obhospodařování travních porostů je potřeba přizpůsobit místním přírodním podmínkám. V zemědělsky znevýhodněných oblastech geomorfologické, klimatické podmínky a struktura kultur půdního fondu

předurčují uplatnění polointenzivních až extenzivních systémů obhospodařování (Vostoupal et al. 2007).

Kromě toho je potřeba brát v úvahu, že každá kategorie pastevních zvířat vyžaduje individuální přístup ve výběru samotného systému pastvy, ale i druhu a složení travního porostu. Správná organizace pastvy musí vyrovnávat měnící se sezónní intenzitu nárůstu trávy a uvádět jej do souladu s potřebami zvířat (Vostoupal et al. 2007).

Pastevní systémy lze rozdělit do dvou základních skupin:

1. Rotační pastva – je spásání dvou a více pastvin, kde se střídá doba spásání s dobou obrůstání použité pastviny. Doba spásání porostu je závislá na obrůstání porostu, podmínkách prostředí a na počtu zvířat na pastvě (Vostoupal et al. 2007).

2. Kontinuální pastva – je nepřetržité spásání pastviny během roku nebo pastevní sezóny.

Většinou se používá na rozsáhlých celcích (polo)přirozených travních porostů při nízkém zatížení pastviny nebo na menších intenzivně obhospodařovaných pastvinách s vysokým zatížením (Vostoupal et al. 2007).

Dále lze hodnotit pastvu podle její intenzity. Intenzita pastvy je zatížení pastviny ve vztahu k produkci rostlinné biomasy.

1. Extenzivní pastva – projevuje se nerovnoměrným vypasením ploch. Méně spásané plochy umožňují vykvetení rostlin a jsou útočištěm a zdrojem potravy pro různé druhy hmyzu. Extenzivní pastva má své nevýhody. Často vede z dlouhodobého hlediska k silnému zaplevelení málo chutnými plevele, k nízké estetické hodnotě udržovaných pozemků nebo k selektivnímu vyžírání v dané době nejchutnějších druhů (Vostoupal et al. 2007).

2. Intenzivní pastva – uplatňovala se zejména v okolí zemědělských podniků zaměřených na živočišnou produkci. Vlivem intenzivní pastvy dochází často k eutrofizaci pozemků, což následně vede k narušení půdní druhové skladby rostlin a k rozšiřování nitrofilních druhů rostlin. Nadměrná koncentrace zvířat na jednom místě vede k silnému sešlapu a narušení travního drnu (Vostoupal et al. 2007).

Začátek a doba trvání pastevní sezóny je v jednotlivých oblastech odlišná. V podhorských oblastech začínáme s pastvou zhruba od poloviny dubna do začátku května a pastevní období trvá 150 – 180 dnů. V nížinných oblastech pastva začíná zhruba o 14 dnů dříve a trvá 180 – 200 dnů. V horských oblastech začíná o 14 – 30 dnů později a trvá 80 – 100 dnů (Vostoupal et al. 2007).

2.3. Technologie energetického využití travinné fytomasy

2.3.1. Seč

Jedná se o sklizeň fytomasy. První seč travních porostů probíhá nejčastěji v období května. Termíny a počet sečí jsou ovlivňovány množstvím narostlé fytomasy. Posečená hmota má obsah sušiny v rozmezí 18 – 35 % (Kajan 2008).

Pro sklizeň se používají žací stroje, které mohou být s čelním uchycením na traktor a nebo s uchycením vzadu. Je možná varianta i kombinace obou uchycení.

Šíře záběru při sečení je v rozmezí od jednoho až po devět metrů, zaleží na zvolení určitého typu žacího stroje. Pro výpočet výkonu sečení lze počítat na jeden metr šíře záběru jeden hektar za hodinu. Z toho vyplývá, že žací stroj s šíří záběru čtyři metry, poseče za jednu hodinu čtyři hektary pozemku. Pokud posečená fytomasa nepromokne, není ji nutné obracet. Cena žacího stroje je v rozmezí od 200 tisíc Kč (pro záběr 3 metry) až do jednoho milionu

Kč (pro sestavu se záběrem až 9 metrů). Spotřeba nafty se pohybuje v rozmezí 4 – 6 litrů na hektar (Kajan 2008).

2.3.2. Shrnování

Posečený porost se ponechá zavadnout na sušinu 28 – 35 %. Poté do 24 hodin následuje shrnování do řádků, které zajišťují dokonalé plnění řezačky. Pokud posečená fytomasa nedoschne na považovanou sušinu, je nutné hmotu obrátit. Shrnovače jsou převážně rotační. Shrnovací zařízení mají záběr 2,8 – 15 metrů. Lze počítat s výkonem 0,5 ha na metr záběru za hodinu a se spotřebou nafty kolem 2 litrů na hektar. Cena shrnovače se záběrem 6,5 – 7 metrů je 420 000 Kč. (Kajan 2008).

2.3.3. Řezání

Při přípravě fytomasy k silážování je řezání jedna z nejdůležitějších operací. Z rozřezaných pletiv se uvolňují cukry, které se zkvašují mléčnými bakteriemi. Rozřezání pletiv je příznivé pro následnou fermentaci. Používají se samojízdné řezačky. Pro následnou výrobu bioplynu dostačuje délka řezanky v rozmezí 2 – 4 cm. V přepočtu na hektar, bez spotřeby nafty, se náklady na řezání porostu pohybují kolem 1 050 Kč. Množství spotřebované nafty se pohybuje v rozmezí 10 – 15 litrů na hektar (Kajan 2008).

2.3.4. Doprava

Řezanka se dopravuje na místo uskladnění pomocí běžných traktorů a nákladními auty. Vzhledem k velkému objemu řezanky se používají přívěsy s nástavbovými bočnicemi. Doprava je časově náročná. Je nutné vzít v úvahu

čas jízdy s nákladem i bez nákladu, čas plnění a čas vyprazdňování (Kajan 2008).

2.3.5. Konzervace a uskladnění fytomasy

Pro energetické využití fytomasy v bioplynových stanicích, je nutné sklizenou fytomasu zakonzervovat a uskladnit. Obsah sušiny sklizené rostlinné hmoty se pohybuje v rozmezí 20 – 25 %. Silážování a senážování jsou technologie, při kterých se snižuje hodnota pH na 3,8 – 4,2. Snížení hodnoty pH dosáhneme pomocí kyseliny mléčné, která vzniká kvašením cukrů mléčnými bakteriemi za nepřístupu vzduchu. Vzduch se vytlačuje z fytomasy tlakem za použití těžké mechanizace. Senáž a siláž se od sebe liší obsahem sušiny. Obsah sušiny v siláži je v rozmezí 28 – 35 % a u senáže nad 50 %. Pro výrobu bioplynu je výhodnější konzervovat rostlinou hmotu pomocí silážování (Kajan 2008).

Pro úspěšnou fermentaci je důležité dobré zakonzervování rostlinné biomasy. V dobře připravené a uskladněné siláži jsou malé ztráty organické hmoty. Rostlinná biomasa se siláží do žlabu a nebo do vaku. Náklady na výstavbu žlabu jsou v rozmezí 1 000 – 2 000 Kč/m². Pořizovací cena se odvíjí od typu a velikosti silážního žlabu. Při silážování do žlabu se spotřebuje 0,2 – 0,4 litrů nafty na tunu. Silážní vak o průměru 3 metry a délce 75 metrů stojí kolem 14 000 Kč. Při lisování se spotřebuje cca 0,4 litrů nafty na tunu. Cena lisu činí 1,9 milionu Kč, cena je bez DPH (Kajan 2008).

2.3.6. Uskladnění digestátu

Při anaerobní fermentaci se část organických látek přemění na bioplyn a zbytek zůstává ve formě fermentačního, který se nazývá digestát. Při fermentaci vzniká stejné množství digestátu, jako bylo množství zpracovávané fytomasy. Pro uskladnění digestátu se používají betonové

nebo ocelové nádrže. Cena těchto nádrží se pohybuje v rozmezí 1 300 – 2 000 Kč/m³ (Kajan 2008).

2.4. Principy hodnocení energetické účinnosti využití fytomasy

V každém ekosystému, ať už je nebo není ovlivněn lidskou činností nebo je přímo člověkem vytvořen, je hlavním zdrojem energie sluneční záření. Energie slunečního záření je poutána do biomasy rostlin v procesu fotosyntézy. Energií obsaženou v živé a odumřelé rostlinné biomase následně využívají další organismy včetně člověka, které v ekosystému plní roli konzumentů a destruentů (Odum 1977).

Dodatková energie souvisí se zvyšujícími se požadavky na produkci potravin pro exponenciálně rostoucí počet obyvatel na Zemi. Se zvyšující se intenzifikací rostlinné výroby logicky stoupá i množství fixovaného slunečního záření. Současně vzrůstá i množství dodatkové energie, kterou je třeba vkládat ve formě pohonných hmot, strojů, průmyslových hnojiv a pesticidů apod., aby tato vyšší intenzita byla zabezpečena. Do dodatkové energie patří zpracování půdy, průmyslová hnojiva, pesticidy a závlahy (Segeťová 1982).

Zemědělství je jako každá výrobní činnost procesem transformace surovin a účelové změny jejich vlastností. Od všech ostatních odvětví se však liší tím, že ve výrazném rozsahu transformuje energii slunečního záření a cílevědomě ji akumuluje v konečné produkci. V energetickém obsahu rostlinné produkce je akumulována zhruba z 98 % energie slunečního záření. S narůstající intenzitou výroby a produktivitou lidské práce se zvyšuje hodnota energetických vkladů do výrobního procesu. Při růstu energetických vkladů roste i objem zemědělské produkce. Účelem energetického hodnocení je odhalovat existující rezervy a optimalizovat energetické vklady do výrobního procesu z hlediska dosažení co nejvyššího výrobního efektu při nízké spotřebě energie (Preininger 1987).

2.4.1. Základní pojmy a definice

2.4.1.1. Výrobní proces

Výrobní proces je souhrn technologických postupů k získání užité produkce určitého druhu. Zahrnuje zpravidla všechny operace od přípravy půdy až po sklizeň a většinou posklizňovou úpravu produkce bezprostředně navazující na sklizeň (Preininger 1987).

2.4.1.2. Technologický postup

Technologický postup je souhrn pracovních operací navzájem podmíněných a zpravidla bezprostředně časově navazujících, tedy např. zpracování půdy, hnojení, setí, kultivace, sklizeň, posklizňová úprava (Preininger 1987).

2.4.1.3. Energetické výrobní vstupy

Energetické výrobní vstupy (spotřeba energií) tvoří soubor všech energií spotřebovávaných ve výrobním procesu a přecházejících s určitou účinností do konečného výrobku (Preininger 1987).

Energetické výrobní vstupy se dělí takto:

E_0 – energie vnějšího prostředí zahrnuje:

E_{01} – energie slunečního záření

E_{02} – energie akumulovaná v půdě

E_{03} – energie atmosféry

E_{04} – energie infrastruktury okolního prostředí

E_1 – přímé a nepřímé technologické vklady:

E_{11} – přímé energetické vklady se skládají z:

E_{111} – energie živé lidské práce

E_{112} – fosilní energie (motorová paliva)

E_{113} – jiných energetických zdrojů (práce potahů)

E_{12} – nepřímé energetické vklady (energie spotřebovaná na výrobu výrobních prostředků) se skládají z:

E_{121} – energie ve strojích

E_{122} – energie výrobků chemického průmyslu

E_{123} – energie v organických hnojivech

E_{124} – energie v osivech

E_{125} – ostatní vstupy nepřímé spotřeby energií (závlahy, odvodnění, zúrodnovací opatření, stavby) (Preininger 1987).

2.4.1.4. Energetické výstupy

Energetické výstupy (produkce energie) z rostlinné výroby tvoří souhrn energetického obsahu vyprodukované biomasy a nevratných energetických ztrát. Z vyprodukované biomasy připadá část na užitnou produkci (hlavní a vedlejší), část na rostlinné zbytky a kořenovou biomasu. Podstatná část nesklizené biomasy se vrací do výrobního cyklu ve formě energie akumulované v půdě. Nevratné ztráty obecně zvyšují entropii vnějšího prostředí (Preininger 1987).

Energetické výstupy se člení takto:

E_2 – energie užité rostlinné produkce, skládá se z:

E_{21} – energie v bioplynu

E_{22} – energie v digestátu

E_3 – energie rostlinných zbytků

E_4 – nevratných energetických ztrát

Množství vyprodukované biomasy závisí jednak na biologických vlastnostech pěstované plodiny, jednak na optimálních podmínkách její vegetace, které se vytvářejí nebo ovlivňují technologickým procesem, tedy účelnými energetickými vklady. Celková produkce je proto významným měřítkem intenzity výroby bez ohledu na následném užití (Preininger 1987).

Nejuniverzálnější metodou výpočtu energetického obsahu rostlinné produkce je stanovení bruttoenergie (spalného tepla) jednotky sušiny produkce. Tento způsob je nečastěji využíván při energetických bilancích. Hodnota bruttoenergie 1 t sušiny rostlinné produkce včetně kořenových zbytků je poměrně stálá (17,58 GJ = spalné teplo celulózy) a mírně kolísá v závislosti na obsahu tuků a cukrů (Preininger 1987).

Bruttoenergie nevyjadřuje užitnou hodnotu produkce většiny plodin, která je dána jejich stravitelností. Proto je v mnoha případech účelnější hodnocení produkce v množství stravitelné energie. Jako nejvhodnější způsob hodnocení užité energie byl zvolen přepočítání z množství škrobových jednotek (Preininger 1987).

2.4.1.5. Energetická bilance

Energetická bilance obecně srovnává vstupy energií do výrobního procesu s energetickými výstupy. Pro výpočet bilance slouží tato rovnice:

$$E_0 + E_1 = E_2 + E_3 + E_4$$

Při provozním energetickém hodnocení může být účelně využito neúplné bilance zahrnující pouze provozně zjistitelné výrobní vstupy a výstupy (Preininger 1987).

2.4.1.6. Energetický zisk

Energetický zisk je definován jako rozdíl mezi získanou a vloženou energií:

$$E_z = E_2 - E_1 \text{ (Preininger 1987).}$$

3. Popis modelové lokality Mokrých Luk u Třeboně

Lokalita Mokré louky se nachází na východním okraji Třeboně. Zahrnuje plochu cca 450 ha. Tato lokalita je každoročně přirozeně zaplavována. V důsledku toho se na lokalitě vytvořila vrstva slatiny, která má mocnost až několik metrů. Klimatické poměry na lokalitě Mokré louky jsou charakterizovány malým výkyvem roční amplitudy teploty vzduchu, vyšší relativní vlhkostí vzduchu, větším množstvím oblačnosti a vyššími srážkovými úhrny. Průměrná roční teplota činí 7,4 °C (Jeník a Květ, 1983).

Původně na lokalitě Mokrých luk rostly rašelinné bory, olšiny a vrbiny. Jejich vykácením vznikly mokré louky. Rákosiny a porosty ostřic se stáhly na břeh Rožmberka a k okolí odvodňovacích kanálů. Slatinné olšiny a vrbiny změnilo v umělé slatinné louky, na kterých převládají velké ostřice, např. *Carex acuta* a *Carex vesicaria* a trávy *Calamagrostis canescens*, *Molinia coerulea*, *Glyceria maxima*, *Phalaris arundinacea* aj.. Z dřevin se zde vyskytuje nejčastěji *Salix cinerea*, *Salix pentandra* a *Salix fragilis* (Jeník 1983). V dnešní době však luční porosty degradují. Tento jev je způsoben intenzivním hospodařením a na druhé straně i bezzásadovým hospodařením. Následkem špatného hospodaření je expanze některých druhů rostlin, např. expanze šťovíku tupolistého (*Rumex obtusifolius*), kostivalu lékařského (*Symphytum officinale*) a kopřivy dvoudomé (*Urtica dioica*). Expanze těchto druhů je způsobena nadměrným hnojením a také splachy a průsaky eutrofní vody z okolí (Prach, 2000).

V nejsevernější části Mokrých luk probíhá intenzivní výzkum. Přesné souřadnice zkoumané lokality jsou 14° 46' 20" východní délky a 49° 01' 30" severní šířky. Průměrná nadmořská výška lokality činí 426,5 m. V 70. letech 20. století bylo na lokalitě vybudováno pokusné zařízení, které se skládalo z polní laboratoře, meteorologické stanice a ze systému lávek (Jeník, Květ; 1983). V 70. a 80. letech 20. století zde probíhal intenzivní vědecký výzkum v rámci programu Člověk a biosféra. Meteorologická stanice byla v roce 2003

převzata od Botanického ústavu Ústavem ekologie krajiny AV ČR, nyníšším Ústavem systémové biologie a ekologie AV ČR. Tento ústav postavil v těsné blízkosti novou stanici, ve které jsou měřeny hlavní meteorologické charakteristiky. V této nové meteorologické stanici jsou umístěny přístroje pro měření toků CO₂ a vodní páry metodou eddy - kovariance (Kuncová 2007).

Lokalita Mokré louky je v dnešní době extenzivně obhospodařována firmou K+K Břilice. Luční porost je hnojen digestátem z bioplynové stanice R.A.B., s r.o. Třeboň a to množstvím 40 q.ha⁻¹. Travní hmota se obvykle začíná sklízet v polovině května, druhá seč se provádí na začátku července a třetí seč na začátku září. Dosahuje se průměrného ročního výnosu 40 q/ha (Lhotský, ústní sdělení).

4. Metody

Pro posouzení energetické bilance zpracování fytomasy na bioplyn potřebujeme znát velikost energetických vstupů a energetických výstupů. K hodnocení jsem použila informací získaných od Ing. M. Kajana a Mgr. R. Lhotského (RaB a ENKI o.p.s., Třeboň) v rámci projektu MŠMT NPV II. 2B06131 (Nepotravinářské využití biomasy v energetice). Vstupní informace jsem hodnotila metodikou dle Preinigera (1987), viz též kapitola 2.4.

Pro posouzení energetické účinnosti využití fytomasy z modelové lokality jsem použila zjednodušenou energetickou bilanci, v níž byly zanedbány složky, které v daném procesu měly jen malý nebo žádný význam (tab.2).

Tabulka č. 2. Složky energetické bilance

Složka bilance	Popis	Zahrnuto do bilance
E ₀₁	Energie slunečního záření	ANO
E ₀₂	En. akumulovaná v půdě	NE
E ₀₃	Energie atmosféry	NE
E ₀₄	Energie infrastruktury okolního prostředí	NE
E ₁₁₁	Energie živé lidské práce	ANO
E ₁₁₂	Fosilní energie (motorová paliva)	ANO
E ₁₁₃	Jiných energetických zdrojů (např. elektrická energie)	NE
E ₁₂₁	Energie ve strojích	ANO
E ₁₂₂	Energie výrobků chemického průmyslu	NE
E ₁₂₃	Energie v organických hnojivech	NE

E ₁₂₄	Energie v osivech	NE
E ₁₂₅	Ostatní vstupy nepřímé spotřeby energií	NE
E ₂₁	Energie v bioplynu	ANO
E ₂₂	Energie v digestátu	NE
E ₃	Energie rostlinných zbytků	NE
E ₄	Energie nevratných energetických ztrát	NE

Uvažované energetické vstupy zahrnují:

E0 - energie vnějšího prostředí:

E01 - energie slunečního záření

E1 – technologické vklady

E11 – přímé energetické vklady na seč, shrnování, řezání, dopravu, konzervaci a uskladnění fytomasy.

E12 – nepřímé energetické vklady na seč, shrnování, řezání, dopravu, konzervaci a uskladnění fytomasy.

Uvažované energetické výstupy zahrnují:

E2 – energie užité rostliné produkce

E21 – energie obsahu hlavního výrobku: Bruttoenergie obsažená v zakonzervované fytomase

5. Výsledky

Pro výpočet energetické bilance bylo zapotřebí zjistit hodnotu energie v lidské práci. Zjistila jsem si, kolik lidí a jak dlouho vykonávali jednotlivé operace. Tyto hodnoty jsem vynásobila energetickým ekvivalentem podle Preiningera (1987), pro který 1 hodina lidské práce odpovídá 25,65 MJ. Tak jsem zjistila pro každou operaci, kolik je k ní zapotřebí energie. Získané hodnoty jsem sečetla a zjistila jsem tak celkovou energii v lidské práci, která nabyla hodnoty 39,06 MJ.ha⁻¹. Všechny vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 3.

Tabulka č. 3. Podklady pro zhodnocení energie v lidské práci.

Operace	Počet hodin lidské práce (h.ha ⁻¹)	Energie v lidské práci (MJ.ha ⁻¹)
kosení	0,33	8.46
nahrabování	0,33	8.46
řezání	0,33	8.46
doprava 5 km	0,5	12.83
silážování	0,033	0.85
Celkem		39.06

Dále bylo zapotřebí vypočíst množství fosilní energie. Pro výpočet jsem si zjistila, kolik je zapotřebí litrů nafty pro jednotlivé operace. Jednotlivé počty litrů jsem vynásobila energetickým obsahem 1 litru nafty, který má hodnotu 35,38 MJ. Získala jsem tak jednotlivé položky energie v naftě, které jsem sečetla. Tím jsem vypočetla celkovou fosilní energii, která získala hodnotu 959,616 MJ.ha⁻¹. Všechny vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Pro výpočet energetické bilance bylo dále zapotřebí vypočítat energii ve strojích. Přehled použitých strojů je uveden v tabulce č. 5. Z publikace Preiningera (1987) jsem si zjistila energetické ekvivalenty k jednotlivým zemědělským strojům. Tyto ekvivalenty jsem vynásobila hmotnostmi strojů. Tím mi vyšly hodnoty energie obsažené v jednotlivých strojích. Tyto hodnoty jsem sečetla a celková energie ve strojích nabyla hodnoty 5 902 GJ. Všechny vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 6.

Tabulka č. 4. Podklady pro zhodnocení fosilní energie.

Operace	Počet litrů nafty/ha	Energie v naftě (MJ.ha ⁻¹)
seč	4,5	158,76
shrnování	1,7	59,976
řezání	10	352,8
Doprava 5km	5	176,4
Silážování - nahrnování	3	105,84
Silážování - dusání	3	105,84
Celkem		959,616

Tabulka č. 5. Parametry použitých strojů

Operace	Zařízení	Výrobní typ zařízení	Hmotnost zařízení (t)	Doplňující údaje	Průměrný výkon (ha.h ⁻¹)
seč	Traktor + Žací stroj	Boční 3,5 m	5+1,5	Šířka záběru 12 m	3
shrnování	Traktor + Shrnovač	4 rotační	5+5	Šířka záběru 12 m	4
řezání	Řezačka	Classe 890	10	50 t za hodinu	3
doprava	Nákladní automobil	Tatra t 815	5	Náklad 30 t, odpovídá ploše 2 ha	2
silážování	rozhrnování	Manipulátor Js b	5	Výkon 500 t.h-1	30
	dusání		5	Výkon 500 t.h-1	30

Údaje z tabulky č. 6 jsem dále použila pro odhad energie ve strojích, která připadá na měrnou jednotku. Za měrnou jednotku jsem zvolila plochu (1 ha) při předpokládané produkci 5 t.ha⁻¹. V tabulce č. 7 jsou uvedeny celkové energie v jednotlivých strojích, spočítané v tab. 6. Dále jsou zde uvedeny počty hodin předpokládané životnosti jednotlivých strojů a počet hodin práce na hektar pro jednotlivé stroje a výsledný odhad energie ve strojích na 1 ha porostu. Podle tohoto odhadu energie ve strojích činila 196,46 MJ.ha⁻¹.

Tabulka 6. Celková energie ve strojích

Operace	Zařízení	Energetický ekvivalent (GJ/t)	Hmotnost (t)	Celková energie (GJ)
seč	Traktor	134	5	670
	Žací stroj	88	1,5	132
shrnování	Traktor	134	5	670
	Shrnovač	88	5	440
řezání	Řezačka	119	10	1190
	Nákladní automobil	146	5	730
doprava 5 km	Nákladní automobil	146	5	730
silážování	rozhrnování	134	5	670
	dusání	134	5	670
celkem				5902

Tabulka č. 7. Energie ve strojích na měrnou jednotku (ha) pro předpokládanou produkci 5 t.ha⁻¹

Operace	Zařízení	Celková energie ve strojích (GJ)	Počet hodin životnosti stroje	Počet hodin práce na 1 ha	Energie ve strojích (MJ.ha ⁻¹)
seč	Traktor	670	10 000	0,33	22,11
	Žací stroj	132	10 000	0,33	4,356
shrnování	Traktor	670	10 000	0,33	22,11
	Shrnovač	440	10 000	0,33	14,52
řezání	Řezačka	1190	10 000	0,33	39,27
	Nákladní automobil	730	10 000	0,33	24,09
Doprava (5 km)	Nákladní automobil	730	10 000	0,5	36,5
silážování	rozhrnování	670	10 000	0,033	16,75
	dusání	670	10 000	0,033	1675
Celkem					196,46

V tabulce č. 8 jsou uvedeny energetické hodnoty pro sklizenou rostlinnou hmotu. Je zde uveden obsah energie v sušině, výnos sušiny z 1 hektaru a také obsah energie ve fytomase, který nabyl hodnoty 23 550 MJ.ha⁻¹.

Tabulka č. 8 Energie ve fytomase

obsah energie v sušině (GJ/t)	15,7
výnos sušiny z 1 ha	1,5
obsah energie ve fytomase (GJ.ha ⁻¹)	23,55
obsah energie ve fytomase (MJ.ha ⁻¹)	23550

V tabulce č. 9 je vypočtena energie v bioplynu. Z 1,5 t sušiny na hektar jsem odečetla 10% popelovin a vyšla mi bezpopelnatá sušina, která měla výnos 1 350 kg . ha⁻¹. Z této hmotnosti bezpopelnaté sušiny posléze vznikne 675 000 NL . ha⁻¹ bioplynu. Toto množství vzniklého bioplynu odpovídá podle Preiningera (1987) energii v bioplynu 20 250 MJ na hektar.

Tabulka č. 9 Energie v bioplynu

sušina (t.ha-1)	1,5
10 % popelovin v sušině	
OL = bezpopelná sušina (t.ha-1)	1,35
OL = bezpopelná sušina (kg.ha-1)	1350
produkce bioplynu (NL.kg-1 OL)	500
produkce bioplynu (NL.ha-1)	675000
produkce bioplynu v Nm ³ .ha-1	675
energie bioplynu (MJ.m-3)	30
energie v bioplynu z 1 ha	20250

V tabulce č. 10 jsou přehledně sepsány veškeré dodatkové energie. Z tabulky vyplývá, že nejvíce energie bylo dodáno v pohonných hmotách. Nejnižší dodaná energie byla v lidské práci.

Tabulka č. 10 Dodatková energie

obsah energie v práci (MJ.ha ⁻¹)	51,04
obsah energie v PHM (MJ.ha ⁻¹)	959,62
obsah energie ve strojích (MJ.ha ⁻¹)	196,456
dodatková energie celkem (MJ.ha ⁻¹)	1207,12

6. Diskuse

V procesu fotosyntézy se v organické hmotě rostlin akumuluje energie. Ve fytoenergetice se vychází z předpokladu, že podstatná část této energie je využitelná jako energetický zdroj pro lidskou potřebu. V práci jsem si položila otázku, jaký je vztah mezi množstvím energie poutané ve fytomase, množstvím vložené dodatečné energie a množstvím energie využitelné ve formě bioplynu.

Pro své výpočty jsem předpokládala výnos 1,5 t sušiny na hektar. Dalšími předpoklady pro mé výpočty byla fytomasa obsahující 30% sušiny s obsahem 15,76 J na tunu sušiny. Ve výpočtech jsem počítala s dopravou na vzdálenost 5 km. Vypočetla jsem, že dodatečná energie činila 1207,12 MJ na hektar. Tato energie je součtem energií v práci, v pohonných hmotách a energií ve strojích. Další hodnota, kterou jsem vypočetla, byla energie v bioplynu, která nabyla hodnoty 20250 MJ na hektar. Nejvyšší energetickou hodnotu jsem vypočetla u fytomasy, která činila 23550 MJ na hektar.

Energetickou bilanci jsem počítala pro nižší produkci sušiny, a to pro 1,5 t sušiny na hektar. Běžnější by bylo uvažovat v první seči 3 t sušiny na hektar a v druhé 1,5 t sušiny na hektar. Při výpočtu energetické bilance s vyšší produkcí sušiny by se hodnota dodatečné energie zvýšila jen málo. Podstatně by se ovšem navýšila energetická hodnota ve fytomase a v bioplynu.

Preininger (1987) ve své publikaci vypočetl normativní energii paliva a normativní spotřebu energie pro výrobu strojů. U lučního porostu vypočetl energii paliva 2,29 GJ na hektar a energii ve strojích 1,08 GJ na hektar. U porostu kukuřice na siláž mu vyšly hodnoty pro energii v palivu 5,83 GJ na hektar a pro energii ve strojích 2,23 GJ na hektar. U porostu kukuřice na siláž je celková spotřeba energií dvojnásobná, což je způsobeno větší agrotechnickou náročností této plodiny. Ovšem současně má kukuřice

obvykle vyšší výnos než byla hodnota 1,5 t sušiny na hektar, předpokládaná v této práci. Pokud bychom tedy měli přesněji porovnat energetickou bilanci trvalého travního porostu a intenzivní polní kultury kukuřice, potřebovali bychom také údaje o jejich výnosech.

7. Závěr

V rámci bakalářské práce jsem se převážně zaměřila na energetickou náročnost výroby bioplynu z rostlinné biomasy Mokrých luk u Třeboně. Cílem bylo zjistit, kolik energie se vynaloží na obhospodařování luk a tuto výslednou hodnotu porovnat s energií v bioplynu. Pro výpočet jsem použila rovnici pro energetickou bilanci podle Preiningera.

Vypočetla jsem, že sklizená fytomasa má energetickou hodnotu 23 550 MJ.ha⁻¹. Energie v bioplynu má nižší hodnotu než energie ve fytomase a to 20 250 MJ.ha⁻¹. Dodatková energie, která zahrnuje veškeré agrotechnické operace (např. sečení, nahrabování, řezání a dopravu), měla hodnotu 1 207,12 MJ. ha⁻¹. Z tohoto zjištění vyplývá, že výroba bioplynu z extenzivně obhospodařovaných luk je energeticky výhodná.

Ve své bakalářské práci jsem dále porovnávala zjištěné energetické hodnoty extenzivně obhospodařovaných luk s energetickými hodnotami pro kukuřici na siláž, které uvádí ve své publikaci Preininger. Zjistila jsem, že kukuřice na siláž je dvojnásobně energeticky náročnější než extenzivní louky. Je to způsobeno vyšší náročností kukuřice na agrotechnické zákroky.

8. Literatura

- Dykyjová, D. et al. (1989)** : Metody studia ekosystémů. Academia, Praha, 691 pp.
- Gaduš J., Šágrová S. (2005)**: Possibilites of biomass co-fermentation. In: Součková H., Moudrý J. (ed.), Využití fytomasy pro energetické účely. Sborník vědeckých publikací z mezinárodního semináře "Nepotravinářské využití fytomasy", 1.9.2005, České Budějovice, pp. 76-85.
- Havlíčková et al. (2008)**: Rostlinná biomasa jako zdroj energie. Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, Průhonice, 83 pp.
- Hron a Zejbrlík (1979)**: Rostliny luk, pastvin, vod a bažin. Státní pedagogické nakladatelství, Praha, 423 pp.
- Chmelík K. (1996)**: Zpracování fytomasy pro energetické účely. In: Adamovský R., Svoboda A., Ekologické aspekty využití a výroby energie v zemědělství. Sborník vědeckého semináře, 30. 4. 1996, Brno, 29 pp.
- Jeník J., Květ J. (ed.) (1983)**: Studie zaplavovaných ekosystémů u Třeboně. Academia, Praha, 147 pp.
- Kajan (2008)**: Technologicko ekonomické aspekty produkce biomasy z trvalých travních porostů určené k výrobě bioplynu. Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, Průhonice, 22 pp.
- Kára et al. (2001)**: Anaerobní fermentace vlhkých materiálů – výroba bioplynu. In: EKOTREND 2001 – trvale udržitelný rozvoj. – Sborník z mezinárodní konference 28.-29.3.2001, JU ZF, České Budějovice, pp. 207-210.
- Konvalina et al. (2007)**: Pěstování rostlin v ekologickém zemědělství. JU ZF, České Budějovice, 117 pp.
- Kuncová Š. (2007)**: Struktura a nadzemní produkce porostu vybraného monodominantního porostu eutrofní zaplavované louky. Bakalářská práce. Zemědělská fakulta Jihočeské univerzity, České Budějovice

- Odum E.P. (1977):** Základy ekologie. Academia, Praha, 733 pp.
- Prach K. (2000):** Co vypovídají geobotanické studie o změnách a současném stavu třeboňské krajiny. In: Třeboňsko 2000, Ekologie a ekonomika Třeboňska po dvaceti letech. Třeboň, ENKI, o.p.s., pp. 119 – 123.
- Preininger (1987):** Energetické hodnocení výrobních procesů v rostlinné výrobě. Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, Praha, 29 pp.
- Seget'ová (1982):** Energetické bilance v rostlinné výrobě. Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, Praha, 96 pp.
- Sladký V. (1996):** Spalování biomasy – ekonomika a ekologie. In: Adamovský R., Svoboda A., Ekologické aspekty využití a výroby energie v zemědělství. Sborník vědeckého semináře, 30. 4. 1996, Brno, 30 – 35 pp.
- Sladký V. (2001):** Dřevní peletky – standardní fytopalivo budoucnosti. In: EKOTREND 2001 – trvale udržitelný rozvoj. – Sborník z mezinárodní konference 28.-29.3.2001, JU ZF, České Budějovice, pp. 201-206.
- Součková a Moudrý (2005):** Využití fytohmoty pro energetické účely. In: Sborník vědeckých publikací z mezinárodního semináře “Nepotravinářské využití fytohmoty “. JU ZF, České Budějovice, 123 pp.
- Vostoupal et al. (2007):** Zásady pro obhospodařování trvalých travních porostů. Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha, 54 pp.

Internetové zdroje:

<http://www.biom.cz>