

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**  
**Zemědělská fakulta**  
**Katedra rostlinné výroby a agroekologie**  
Akademický rok: **2010/2011**

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Studijní program: M4101 Zemědělství  
Studijní obor: Trvale udržitelné systémy hospodaření v krajině

Porovnání vhodnosti vybraných rostlinných kultur pro různé  
způsoby  
energetického využití

Pavelová Lenka  
2011

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma:“ Porovnání vhodnosti vybraných rostlinných kultur pro různé způsoby energetického využití „ jsem vypracovala samostatně na základě vlastních zjištění a materiálů, které uvádím v seznamu použité literatury.

Dne: 15.4.2011

Podpis: Pavelová Lenka

**Poděkování:**

Ráda bych poděkovala vedoucímu své bakalářské práce Ing. Milanovi Kobesovi, Ph.D., který mi po celou dobu zpracování mé práce poskytoval kvalifikované rady a odbornou pomoc. Bez jeho pomoci a poskytnuté literatury bych svou bakalářskou práci nebyla schopna vypracovat.

|             |  |           |
|-------------|--|-----------|
| <b>1.</b>   | <b>Úvod</b>  | <b>8</b>  |
| <b>2.</b>   | <b>Literární přehled</b>                                   | <b>9</b>  |
| <b>2.1.</b> | <b>Význam obnovitelných zdrojů energie</b>                 | <b>9</b>  |
| 2.1.1.      | Význam a využití rostlinné biomasy jako zdroj energie      | 10        |
| 2.1.2.      | Charakteristika a typy biomasy                             | 11        |
| 2.1.3.      | Budoucnost biomasy   | 12        |
| <b>2.2.</b> | <b>Výběr a pěstování rostlin pro energetické využívání</b> | <b>13</b> |
| <b>2.3.</b> | <b>Rychle rostoucí dřeviny (RRD)</b>                       | <b>15</b> |
| 2.3.1.      | Výběr stanoviště   | 16        |
| 2.3.2.      | Příprava plochy  | 17        |
| 2.3.3.      | Výsadba  | 18        |
| 2.3.4.      | Péče po výsadbě  | 18        |
| 2.3.5.      | Sklizeň  | 19        |
| 2.3.6.      | Ekonomické aspekty plantáží RRD                            | 20        |
| <b>2.4.</b> | <b>Obiloviny</b>   | <b>20</b> |
| 2.4.1.      | Pšenice ( <i>Triticum L. sp.</i> )                         | 24        |
| 2.4.2.      | Oves ( <i>Avena L.</i> )                                   | 25        |
| 2.4.3.      | Žito ( <i>Secale L.</i> )                                  | 25        |
| 2.4.4.      | Triticale ( <i>Triticosecale Wittm.</i> )                  | 26        |
| 2.4.5.      | Agrotechnika obilovin                                      | 26        |
| 2.4.6.      | Kvalita biomasy obilovin                                   | 27        |
| 2.4.7.      | Kukuřice setá ( <i>Zea mays L.</i> )                       | 28        |
| 2.4.8.      | Agrotechnika kukuřice a kvalita biomasy kukuřice           | 28        |
| <b>2.5.</b> | <b>Monokultury trav</b>                                    | <b>29</b> |
| 2.5.1.      | Sveřep bezbranný ( <i>Bromus inermis</i> )                 | 30        |
| 2.5.2.      | Kostřava rákosovitá ( <i>Festuca arundinacea Schreb.</i> ) | 31        |
| 2.5.3.      | Psineček veliký ( <i>Agrostis gigantea Roth.</i> )         | 32        |

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| 2.5.4.       | Ovsík vyvýšený ( <i>Arrhenatherum elatius L.</i> )                           | 33        |
| 2.5.5.       | Srha říznačka ( <i>Dactylis glomerata L.</i> )                               | 33        |
| 2.5.6.       | Bojínek luční ( <i>Phleum pratense L.</i> )                                  | 34        |
| 2.5.7.       | Chrastice rákosovitá ( <i>Phalaris arundinacea L.</i> )                      | 35        |
| 2.5.8.       | Ozdobnice čínská ( <i>Miscanthus sinensis</i> )                              | 36        |
| 2.5.9.       | Agrotechnika trav  | 36        |
| <b>2.6.</b>  | <b>Jetelotravní směsi (JTS)</b>  | <b>38</b> |
| <b>2.7.</b>  | <b>Monokultury jetelovin</b>   | <b>39</b> |
| 2.7.1.       | Jetel luční ( <i>Trifolium pratense L.</i> )                                 | 39        |
| 2.7.2.       | Vojtěška setá ( <i>Medicago sativa L.</i> )                                  | 40        |
| 2.7.3.       | Komonice bílá ( <i>Melilotus albus Des.</i> )                                | 41        |
| 2.7.4.       | Agrotechnika jetelovin   | 41        |
| <b>2.8.</b>  | <b>Byliny</b>  | <b>42</b> |
| <b>2.9.</b>  | <b>Trvalé travní porosty (TTP) a jejich produkční a mimoprodukční význam</b> | <b>44</b> |
| 2.9.1.       | Agrotechnika TTP   | 46        |
| 2.9.2.       | Produkční a mimoprodukční funkce TTP   | 47        |
| <b>2.10.</b> | <b>Způsoby využití biomasy k energetickým účelům</b>                         | <b>48</b> |
| 2.10.1.      | Přímé spalování  | 49        |
| 2.10.2.      | Výroba bioplynu  | 50        |
| 2.10.3.      | Ostatní způsoby využití – digesce  | 52        |
| <b>3.</b>    | <b>Závěr</b>   | <b>53</b> |
| <b>4.</b>    | <b>Přílohy – tabulky, grafy, obrázky</b>                                     | <b>57</b> |
| <b>5.</b>    | <b>Použitá literatura</b>  | <b>65</b> |

**Anotace:**

Bakalářská práce byla zpracována formou literární rešerše, doplněné případně o tabulkové a grafické zpracování získaných údajů a o vlastní komentář (diskuzi) k literárním údajům.

Cílem práce bude posouzení vhodnosti vybraných rostlinných kultur pro pěstování na energetické využití s ohledem na jejich pěstební technologie a posouzení vhodnosti biomasy k různým způsobům zpracování a získávání energie. Stručný nástin hospodářského, ekonomického a ekologického významu tématu.

V úvodu literárního přehledu ve druhé kapitole, jsou uvedeny informace týkající se obnovitelných zdrojů energie, co jsou obnovitelné zdroje energie, jejich význam a využití. Kapitola se dále zabývá významem a využitím rostlinné biomasy jako zdroje energie, charakteristikou jednotlivých typů biomasy a na závěr je zmíněna budoucnost biomasy.

Ve třetí kapitole „Výběr a pěstování rostlin pro energetické využívání“ jsou uvedeny informace o vybraných dřevnatých a nedřevnatých plodinách uvažovaných pro energetické využití. Jedná se o tyto plodiny – obiloviny, kukuřice, rychle rostoucí dřeviny, monokultury trav, jetelotravní směsi, monokultury jetelovin, byliny, trvalé travní porosty: jejich produkční a mimoprodukční význam. Pro jednotlivé plodiny jsou zpracovány: obecná charakteristika plodiny, botanické zařazení, nároky na stanoviště, agrotechnika, sklizeň a posklizňové ošetření. Dále jsou uvedeny možnosti využití produkce a nastíněno využití jednotlivých plodin pro energetické účely.

Čtvrtá kapitola se zabývá způsoby využití biomasy k energetickým účelům. Využitím dřevní hmoty, slámy obilovin a energetických rostlin pro přímé spalování, využití biomasy na výrobu bioplynu a ostatními způsoby využití.

Závěrem v páté kapitole je shrnutí nejdůležitějších poznatků a doporučení vyplývajících ze studované problematiky, obohacené o tabulkové a grafické zpracování.

**Abstract:**

This bachelor thesis was made by form of literature retrieval, eventually added of any tables and graphic design of acquired data and own commentary (discussion) to the literature details.

The aim of the work will assess the suitability of selected crops for cultivation in energy use with respect to growing their technology and assess the suitability of biomass for different ways of processing and energy recovery. A brief outline of the economic, ecological and economic importance of the topic.

In the second chapter of literature review are provided information about renewable energy sources, what the renewable energy resources are, their significance and use. The chapter also discusses the importance and use of biomass as energy source, characteristic of various types of biomass and finally is mentioned the future of biomass.

In the third chapter "Selection and cultivation of plants for energy recovery" summarizes the information about selected woody and non-woody crops characteristic for energy use.

It is these crops - grains, maize, fast growing woody plants, monocultures of grass, clover mixture,

monoculture legumes, herbs, permanent grassland: the productive and out of productive importance. For individual crops are processed: general characteristics of plants, botanical classification, requirements for habitat, agricultural engineering, harvesting and post harvest treatment. Below are listed possibilities of production and outlined the use of crops for energy purposes. The fourth chapter deals with the ways of using biomass for energy purposes. By using wood, straw and energy crops for direct combustion of biomass to produce biogas and other forms of exploitation. Finally in the fifth chapter is a summary of key findings and recommendations resulting from studying issue, extended tables and graphical processing.

## 1. Úvod

V současné době řeší lidstvo důležitý problém týkající se snižování emisí a boj s globálními klimatickými změnami. Tento problém je i jedním z hlavních témat mezinárodní politiky. Emise vznikají spalováním fosilních zdrojů energie např. v uhelných elektrárnách, ale jejich původcem je i doprava. Fosilní paliva by proto měla být nahrazována ekologičtější variantou – obnovitelnými zdroji energie. Rozvoj zažívají také biopaliva, která sice dokáží nahradit benzín, nicméně jejich vliv na životní prostředí je diskutabilní.

Obnovitelné zdroje energie jsou přírodní energetické zdroje, které mají schopnost částečné nebo úplné obnovy a jsou šetrnější k životnímu prostředí. Jedním ze zdrojů obnovitelné energie je rostlinná biomasa. Za základní zdroj biomasy se považují rostliny, které jsou pomocí světelné energie Slunce, zachycené v zeleném barvivu, schopny vytvořit sacharidy a následně bílkoviny. Je to veškerá organická hmota vzniklá prostřednictvím fotosyntézy. Fotosyntéza je jedním z nejefektivnějších systémů utilizace solární energie a asimilace CO<sub>2</sub> a činitelem ovlivňujícím rovnováhu CO<sub>2</sub> a koloběh živin v ekosystémech.

Pěstování rostlinné biomasy může mít příznivý vliv na udržování stavu krajiny, ale i na její zlepšování. Rostlinná vegetace je rozhodujícím činitelem produktivity ekosystémů a ochrany půdy před vodní a větrnou erozí, vytváří estetický ráz krajiny a podporuje biodiverzitu.

V poslední době se začíná využívat nadbytečná půda nepotřebná pro výrobu potravin pěstováním energetických rostlin a také energetického využití dřevního odpadu z pěstování, těžby a zpracování dřeva, slámy obilovin a olejnin. Zároveň pěstování energetických rostlin, výroba fytopaliv a budování fytoenergetických zařízení vytváří nové pracovní příležitosti a podílí se na hospodářské prosperitě venkovských obcí. Biomasa se významně uplatňuje při teplofikaci venkovských obcí a to zejména tam, kde není provedena plynofikace.

Využívání biomasy má však i své nevýhody. Důležitá je správná volba plodiny pro dané ekologické podmínky a vhodná agrotechnika. Je důležité se předem seznámit s konkrétními plodinami, potenciálem jejich výnosů, požadavky na agrotechnické postupy a příslušnými termíny jejich sklizně. Od těchto parametrů se, mimo jiné, odvíjí náklady na pěstování, z čehož se následně odvozují budoucí zisky.

Cílem práce je proto posouzení vhodnosti různých rostlinných kultur pro pěstování na energetické využití jejich biomasy.



## 2. Literární přehled

### 2.1. Význam obnovitelných zdrojů energie

Obnovitelné zdroje energie jsou přírodní zdroje, které se neustále obnovují (i při využívání jsou buď okamžitě, nebo pravidelně znovu k dispozici).

Velký význam využívání obnovitelných zdrojů energie vyplývá z těchto hledisek:

- většina zdrojů je ekologicky čistá, takže jejich využívání příliš nezatěžuje životní prostředí, i biomasa je v podstatě ekologická, CO<sub>2</sub> je vázán v cyklu rostlina – spotřeba.
- využívání obnovitelných zdrojů energie neklade nároky na dovoz primárních energetických zdrojů a budování rozsáhlých transportních zařízení. Energie se vyrábí přímo v regionech její spotřeby.
- při zvyšování intenzity ve využívání obnovitelných zdrojů energie nehrozí nebezpečí jejich vyčerpání.

Z celosvětového hlediska představují obnovitelné zdroje energie obrovský potenciál, jehož prakticky využitelný podíl je téměř na úrovni současné celosvětové spotřeby primární energie. Využití těchto zdrojů však zatím často bývá spojeno s velkými investičními náklady, takže je doposud s výjimkou vodní energie využívána jen omezená část tohoto potenciálu. Probíhají však rozsáhlé výzkumy přecházející v mnoha případech do praktického ověřování, které vytvářejí předpoklady pro další dynamický rozvoj využití obnovitelných zdrojů energie. V současné době se projevuje zvýšený zájem o využívání energie malých vodních toků a pozornost se zaměřuje i na využívání energie větru. Po určité stagnaci se znovu obrací pozornost na využívání sluneční energie a energie prostředí - aplikace tepelných čerpadel (Balák, 1989).

Druhotnými energetickými zdroji jsou různé spalitelné odpady z průmyslové a zemědělské výroby, odpadní teplo z technologických procesů i větrání objektů.

Specifikem zemědělství je zpracování exkrementů hospodářských zvířat na bioplyn, spalování dřeva a slámy pro energetické účely, pěstování rostlin, obilovin, monokultur trav, jetelotravních směsí a trvalých travních porostů pro energetické využití a zpětné využití biologického tepla z odvětrávaného stájového vzduchu.

Tyto činnosti je možné z pohledu na zpracovanou látku posuzovat jako obnovitelné i jako druhotné zdroje energie (Kára a kol. 1993).

V ČR má tradici především využívání odpadů ze dřeva, ale rovněž nejsou opominutelné zdroje energie, které lze v budoucnu získávat především z jiných produktů zemědělské výroby (Noskovič a kol., 1996). V současné době nejsou ekonomické

podmínky pro využití energie z biomasy příznivé, protože tyto formy jsou v konkurenci s výrobou energie z fosilních paliv (Zimová, 1991).

Už více jak 100 let lidstvo využívá fosilní zdroje energie např. uhlí, ropu nebo zemní plyn. Důsledky používání těchto fosilních zdrojů se již dnes projevují v upadajícím životním prostředí a globální změně klimatu hlavně v důsledku zvýšení obsahu CO<sub>2</sub> v biosféře. Proto se hledají obnovitelné zdroje energie, které by šetřily životní prostředí a hlavně, aby se získávaly ze zdrojů, které vznikají stále např. z biomasy, bioplynu, využívání sluneční energie a větrné energie.

### **2.1.1. Význam a využití rostlinné biomasy jako zdroj energie**

Biomasa v současné době slaví renesanci. Je považována za obnovitelný zdroj energie, v němž někteří politici i elektrárenské společnosti vidí budoucnost. Výroba elektřiny z biomasy však není tak účinná, jak by se dalo předpokládat. Problém je také skutečnost, že spolu s biomasou je ve většině případů spalováno i uhlí (Poncarová, 2009).

Pojem biomasa zní velmi moderně a ekologicky. Nejedná se však o žádnou novinku. Biomasa byla ve formě dřeva jako zdroj energie využívána po tisíciletí a před nástupem fosilních paliv tvořila hlavní zdroj energie. Biomasa je řazena k obnovitelným zdrojům energie stejně jako vítr, slunce či voda. Rostliny a také stromy totiž dokážeme znovu vypěstovat.

Cílem České republiky bylo do roku 2010 dosáhnout 8% podílu elektřiny z obnovitelných zdrojů na hrubé spotřebě elektřiny. V českých podmínkách není možné vkládat velké naděje do sluneční či větrné energie. Naopak biomasa má pokrýt asi 75% podílu obnovitelných zdrojů na veškeré výrobě energie.

V roce 2007 se z biomasy vyrobilo 968 023 MWh elektřiny, což odpovídá asi 27,38% z celkové výroby z obnovitelných zdrojů. Naopak Česká republika vedla prim ve výrobě tepla. Z této suroviny se vyrobilo přes 45,5 milionů GJ tepla (Poncarová, 2009).

### 2.1.2. Charakteristika a typy biomasy.

Biomasu můžeme obecně definovat jako látku biologického původu. V nejširším slova smyslu se jedná o hmotu všech pozemských organismů. Biomasa může být rostlinného i živočišného původu. Patří sem také organické odpady.

V současné době se zejména využívají tyto formy biomasy:

- zbytková biomasa z lesnictví (štěpka větví, palivové dříví, piliny)
- zbytková biomasa ze zemědělství (sláma, slamnaté seno, kejda aj.)

Lze ji rozdělit na energetické plodiny I. a II. generace (k I. generaci řadíme např. řepku a palmu olejnou, pšenici, kukuřici pro výrobu bioethanolu či žitovec z něhož se vyrábí pelety. K II. generaci patří topoly, vrby, energetický šťovík, proso).

- energetické plodiny - energetický šťovík následovaný topolem a vrbou – pěstují se převážně na zemědělské půdě, která není vhodná pro pěstování rostlin na výrobu potravin či krmiv (Pastorek, 1996).

Energetické rostliny jsou pro zvyšování podílu biomasy na primární energetické spotřebě klíčové, protože mají vysoký energetický potenciál.

Jednotlivé druhy biomasy mají různou výhřevnost, která mj. závisí na obsahu vody v konkrétní surovině. Obsah vody se pohybuje zhruba od 10 do 70%. Čím více je v surovině vody, tím klesá její výhřevnost.

V souvislosti s využíváním biomasy na výrobu elektřiny je často kritizována její neefektivnost. Účinnost biomasy při výrobě elektřiny je odhadována na 25 – 35%. Zbytková energie tj. 65 – 75%, která je produkována ve formě tepla, zůstává nevyužita. Tento problém je možné vyřešit kombinovanou výrobou tepla a elektřiny. V rámci kogenerace je teplo vznikající při výrobě elektřiny užíváno na vytápění. Kogenerací je možné zajisti úsporu paliva ve výši 20 – 30%. Tento fakt nabývá na významnosti, pokud si uvědomíme, že produkce biomasy na konkrétním území je omezena roční kapacitou lokality vyrobit určité množství této suroviny.

Jednoznačnou výhodou biomasy je, že se jedná o obnovitelný zdroj, který je při rozumném využívání nevyčerpatelný. Biomasa je podle většiny analýz CO<sub>2</sub> neutrální. To znamená, že při rozumném spalování této suroviny jsou emise CO<sub>2</sub> rovny spotřebě tohoto plynu nově narůstajícími rostlinami.

Další výhodou je, že využívání biomasy přispívá k rozvoji venkova a zemědělských oblastí. Při pěstování biomasy můžete využít i půdy nevhodné pro pěstování potravinářských rostlin.

Při objektivním posuzování biomasy je nutné poukázat i na nevýhody. Využívání biomasy je limitováno nedostatečným technologickým a finančním zázemím. Při spalování biomasy dochází nejen k uvolňování CO<sub>2</sub>, ale do vzduchu se dostávají také tzv. persistentní organické látky, které jsou škodlivé vůči životnímu prostředí. Tyto látky mohou být odstraněny pomocí aktivního uhlí nebo polokoksu (anonym č.1).

Biomasa je pro lidstvo přirozeným a po tisíciletí využívaným zdrojem energie. V době kdy ubývají zásoby fosilních paliv a hledí se na snižování emisí skleníkových plynů, může být návrat k biomase částečným řešením.

Vzhledem k rostoucím cenám fosilních paliv a ekologickým daním se biomasa může pro mnoho domácností stát vhodnou alternativou, která nahradí klasická paliva. Z biomasy lze využít například dřevěné brikety, rostlinné či dřevěné pelety a štěpky, které jsou ve srovnání s klasickým zemním plynem a uhlím levnější. Při spotřebě 18 kWh tepla dosáhnou roční náklady na štěpku 12 960 Kč a dřevěné pelety 17 720 Kč, zatímco černé uhlí vyjde při této spotřebě asi na 19 891 Kč a plyn na 27 531 Kč. Sto tun slámy obilovin sklizené z cca 25 ha může dobře usušit obilí z plochy 400 až 500 ha, tj. asi 2 000 tun, nebo může v zimním období vytápět až 20 rodinných domků (Sladký, 1993).

Bioplyn – produkt biomasy vzniká při rozkladu biomasy v uzavřených nádržích a obsahuje především energeticky cenný methan, a proto se jeho výhřevnost pohybuje od 20 do 25 MJ/m<sup>3</sup>. Bioplyn se nejčastěji používá k výrobě elektřiny a k výrobě tepla (bioplyn z čističek odpadních vod a bioplynových stanic), ale i jako pohonná látka. Zástupci kapalných biopaliv, jsou především biolih a bionafta. Ekologickým biopalivem je rovněž bioethanol.

### **2.1.3. Budoucnost biomasy**

V Evropské unii je otázka potenciálu biomasy předmětem řady studií. Je zřejmé, že mezi obnovitelnými zdroji energie má zejména ve střední Evropě biomasa nejprůhodnější podmínky. Její další rozvoj podporují jednak legislativní směrnice EU týkající se výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a jednak směrnice, které jsou zaměřeny na zvýšení podílu biopaliv v dopravě. Pro oblast výroby tepla, se legislativní opatření připravují. Obdobně jako u ostatních obnovitelných zdrojů energie i pro biomasu existují dotace financované EU, státem, městy i soukromými subjekty (anonym č.1).

## 2.2. Výběr a pěstování rostlin pro energetické využívání

V současné době se začínají pěstovat rostliny za účelem produkce fytomasy – tzv. energetické plantáže jednoletých nebo víceletých bylin nebo dřevin. Uvádí se kolem jednoho sta rostlinných druhů rostoucích po celém světě, které byly vytipovány jako potenciální zdroj pro energetické využití.

Volba druhu energetické rostliny je určována mnoha faktory jako např. druhem půdy, způsobem využití, prostředky pro pěstování, sklizní a dopravou apod. Dále je nezbytné porovnání výnosů s náklady na pěstování a výrobu energie.

Ideální energetická plodina (ideotyp) by měla mít následující kritéria :

- a) rychlý růst
- b) biomasa nad zemí (běžně ne plodiny s hlízkami). Sklizeň nadzemní části snižuje cenu a chrání půdu.
- c) obsah prvků, zvláště N, co nejnižší. Popeloviny (P, K, Ca, Mg, Fe aj.) snižují kvalitu paliva (z dusíku obsaženého v palivu vznikají oxidy dusíku, zejména však oxidací ze vzduchu při vysokých teplotách hoření od 1200°C až do 1800°C. Popeloviny jsou anorganické složky např. slámy, jejichž spálením vzniká popel. Při spalování slámy je nebezpečí značného úletu jemného popílku do ovzduší, které by mělo být co nejmenší za použití výkonných odlučovačů a filtrů. Důležité je používat suché palivo.)
- d) vytrvalé rostliny, vyrůstající z rhizomů a pařezů. Nemusí se financovat setí a další pěstební technologie. Měly by dobře přežívat zimní období.
- e) rašící časně na jaře a hynoucí pozdě na podzim s návratem částí živin do přežívajících částí rostlin. Plodina by měla růst relativně rychle též při nízkých teplotách. Recyklace živin umožňuje též nízké inputy živin.
- f) vysoká odolnost proti chorobám
- g) vysoká konkurenceschopnost proti plevelům
- h) nízká spotřeba vody a odolnost proti suchu

Pro energetické účely k přímému spalování lze využít řadu rostlinných druhů.

Přitom může jít o jednoleté, víceleté a vytrvalé energetické rostliny, které nedřevnatí nebo dřeviny. Ověřovací studie ve světě byly dosud zaměřeny na ozdobnici čínskou (*Miscanthus sinensis*), vousatici (*Andropogon gerardii*), vousatec (*Pennisetum alopecuroides*), rákos (*Phragmites Australis*), milička (*Eragrostis trichodes*), rdesno – křídlatka (*Polygonum*),

třtinovec (*Erianhus ravene*), proso (*Panicum virgatum*), konopí seté (*Canabis sativa*), artyčok (*Cynara cardunculus*) a jiné (Moudrý, 2011).

U nás se v polních pokusech ověřují další druhy, jako je šťovík krmný (*Rumex tiachanicus x Rumex patientia*), toplovka růžová – sléz (*Altea rosea*), mužák porostlý (*Silphium perfoliatum*), bělotrn modrý (*Echinops ritro*), pelyněk černobýl (*Artemisia vulgaris*), chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*), topinambur (*Helianthus tuberosus*), komonice (*Melilotus albus*).

Z netradičních olejnin byly zkoušeny karambe (Katrán habešský), roкета setá, ředkev olejná, saflor (Světlice barvířská), len, z obilovin Súdánská tráva, čirok a Hyso (hybrid čiroku a Súdánské trávy) a další (Moudrý, 2011). Jednoleté plodiny jsou významné rychlou produkcí a nižšími nároky na mechanizaci. Lze sem zařadit i vedlejší produkty rostlinné výroby, např. slámu obilovin, řepky apod. Velmi vhodné k pěstování na energetické využití jsou obiloviny, vyhovující bez vysokých nákladů na hnojení a ochranu zavedeným osevním postupům zemědělských podniků, z nichž většina je technicky vybavena pro jejich pěstování. Výhodou je i možnost jejich pěstování v marginálních oblastech nevhodných pro potravinářskou produkci (Moudrý, 2011).

Z hlediska stability a výše produkce se zajímavěji jeví druhy vytrvalé, trvalé travní porosty a rychle rostoucí dřeviny. Po fázi narůstání poskytují rychle rostoucí dřeviny vyšší produkci bez nutnosti každoročního zakládání porostu. Pro zřizování plantáží rychle rostoucích dřevin se hodí eukalypty, platany, topoly, akáty vrby a olše. Našim podmínkám však nejlépe vyhovují topoly – nejvýznamnější topol černý, topol balzámový, kříženci mezi topolem černým a bavlíkovým, případně i javor klen a javor mléč. Pro zakládání plantáží RRD lze vhodně využít uvolněnou zemědělskou půdu, nevyužívané pozemky např. v blízkosti dálnic, na důlních výsypkách, na tzv. antropogenních (rekultivovaných) půdách, skládkách, lokalitách ohrožených imisemi apod.

K využití pro energetiku se dobře hodí i trvalé porosty vysoko vzrůstných travin: ozdobnice čínská, chrastice rákosovitá, rákos obecný a větší pozornost si zaslouží i křídlatka.

Obecně platí, že ekonomicky a energeticky efektivnější je pěstování rostlin víceletých a vytrvalých než tradičních jednoletých (pokud to není vedlejší produkt jako sláma obilovin či olejnin). Pěstováním netradičních vytrvalých plodin lze efektivně snížit celkové náklady na produkci jednotky biomasy a zásadně zvýšit poměr výstupu energie ke

vstupu neboli „output: input“ - podle zahraničních zdrojů 4 až 10 krát (Havlíčková a kol. 2007).

Je to dáno tím, že při pěstování vytrvalých rostlin jsou nejvyšší náklady v prvním roce – tj. při založení plantáže (tyto náklady mohou být dokonce mnohem vyšší než u tradičních plodin). V následujících letech celkové náklady na pěstování vytrvalých rostlin prudce klesají, neboť odpadají náklady na zpracování půdy a setí, snižují se náklady na hnojení a chemickou ochranu apod. (Havlíčková a kol. 2007).

Ve své práci jsem se zaměřila na rychle rostoucí dřeviny, obiloviny, monokultury trav, jetelotravní směsi a trvalé travní porosty.

### **2.3. Rychle rostoucí dřeviny (RRD)**

Pěstování rychle rostoucích dřevin je systém krajinného hospodaření, který kombinuje zemědělské a lesnické praktiky. Rychle rostoucí dřeviny, jakými jsou například vrba nebo topol, jsou pěstovány v různých cyklech. V poslední době se stále častěji objevují úvahy o masovém pěstování právě zmíněných topolů a také vrb, o nichž se předpokládá, že jejich pěstování přinese několik výhod. Obecnou a již zmíněnou výhodou je jejich relativně rychlý růst, umožňující sklizeň v mnohem kratších periodách, než u klasických lesních porostů. I když tedy jde o dřeviny, jejich pěstování má blíže ke klasickému zemědělství, než ke klasickému lesnictví (Weger, 2011).

Další výhodou takových stromů je, že dřevo je možné použít jak pro výrobu energie (teplo, biopaliva, elektřina), tak i pro výrobu papíru nebo na výstavbu (Christersson, 2010).

Rychlost produkce přináší další řadu výhod, z nichž jmenujme možnost využití mechanizace ve všech fázích pěstování i sklizně a pravidelnost a předvídatelnost produkce, což jsou faktory kladně ovlivňující následné odběratelsko – dodavatelské vztahy s případnými spotřebiteli (Hanzák, Potůček, 2009).

Způsoby záměrného pěstování dřevinné biomasy:

- dřevinné plantáže s krátkým obmýtím – energetická dřevinná štěpka
- dřevinné plantáže se střednědobým obmýtím – papírenská štěpka, energetická biomasa (polínkaření)
- dřevinné plantáže s dlouhým obmýtím – výroba dendromasy pro pilařský průmysl (Hanzák a kol. 2009).

### 2.3.1. Výběr stanoviště:

Pečlivý výběr stanoviště je velmi důležitý úkon, který ovlivní výši a kvalitu sklizně na dlouhou dobu. Životní cyklus RRD v evropských podmínkách je kolem 20 až 30 let. Má-li produkce dřevní biomasy mít rychlou investiční návratnost, má-li být konkurenceschopná zemědělským a lesnickým zpracovatelům produkčních zbytků, musí být použito těch lepších pozemků (Stupavský, 2009).

Stanovištní podmínky můžeme rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou **půdní a klimatické podmínky** vybraného místa.

Optimální pro pěstování topolů a vrb jsou půdy lehké, hlinitopísčité nebo písčitohlinité, také běžně lehčí hnědozemě, spráše s dostatkem vláhy, lehké až středně těžké nivní půdy. Důležitý je obsah vzduchu v půdě. Půdy nesmí být slévavé nebo trvale zamokřené. Lehčí typy těchto půd s pouze dočasným zamokřením, lze využít pro plantáže vrb.

Hloubka půdy by měla být co největší, pro topoly nejméně 2m hluboká, pro vrby 0,6m hluboká, mocnost ornice pro topoly 30cm, pro vrby postačí i méně.

Ačkoliv obě dřeviny nesnášejí trvalé zamokření, nesnášejí také delší přísušky, a to zejména v prvních letech po vysázení. Možnost závlahy po výsadbě je tedy významnou, nikoli však nutnou výhodou. Topol je ve vyšším věku tolerantnější k přísuškům než vrba. Velmi brzy prokoření do velkých hloubek (4m i více) a vláhu popř. i živiny si vytáhne. Vrba prokořeňuje do hloubky 1m a tím je k přísuškům náchylnější. Potom méně přirůstá a je oslabena v boji s různými škůdci (Hanzák, Potůček, 2009).

Můžeme tedy tvrdit, že topoly a vrby je možné pěstovat v širokém spektru klimatických podmínek České republiky s výjimkou extrémně suchých a extrémně chladných oblastí. Pro růst topolů je lepší teplejší klima. Vrby jsou dnes vyšlechtěny tak, že prakticky pro každé vhodné stanoviště lze vybrat tolerantní výnosový klon. Dobré vodítko pro prvotní posouzení lokality z pohledu půdních a klimatických podmínek je číslo „BPEJ“ (bonitovaná půdně – ekologická jednotka). Je to pětimístný číselný kód související se zemědělskými pozemky. Vyjadřuje hlavní půdní a klimatické podmínky, které mají vliv na produkční schopnost zemědělské půdy a její ekonomické ohodnocení.

První číslice kódu BPEJ značí příslušnost ke klimatickému regionu. Označeny kódy 0 -9, celkem bylo vymezeno v ČR 10 klimatických regionů.

Druhá a třetí číslice vymezuje příslušnost k určité hlavní půdní jednotce.



Čtvrtá číslice stanoví kombinaci svažitostí a expozice pozemku ke světovým stranám. Pátá číslice určuje kombinaci hloubky půdního profilu a jeho skeletovitosti (Hanzák , Potůček, 2009).

Druhý pohled na stanovištní podmínky je **technický nebo technologický**.

Pro průmyslové pěstování biomasy pro vlastní nebo cizí zdroj je třeba rozsáhlejších ploch plantáží – desítky až stovky hektarů. Zakládání a obhospodařování takových plantáží rychle rostoucích dřevin, již vyžaduje vysoký podíl mechanizovaných prací a mechanizace vyžaduje pro svůj provoz určité podmínky. Mechanizace se využívá při výsadbách, pro obhospodařování i pro sklizeň. Strojům vyhovují velké, ucelené a pravidelné pozemky. Také jejich svažitost má určité limity. Důležitá je přístupnost ploch pro velkou mechanizaci. Dalším parametrem je vzdálenost plantáží od místa spotřeby biomasy, která by neměla být větší než 100km.

Důležitá je také možnost dlouhodobého skladování. Skládka by měla být přístupná pro běžná těžká silniční vozidla, musí mít prostor pro nakládku a musí být rozměrově odpovídající předpokládané sklizni (Hanzák a kol., 2009).

### **2.3.2. Příprava plochy:**

Dokonalá příprava plochy před výsadbou je důležitý proces, který má velký vliv při zakořeňování dřevitých řízků, poněkud menší význam má pro ujmutí sazenic. Dřevité se sázejí téměř celé do země, rostlina začíná svůj růst od povrchu země, někdy pod povrchem a celý první rok často bojuje s vitálními plevely (Hanzák, Potůček, 2009).

Příprava půdy začíná brzy na podzim, dovoluje – li to čas a předchází využití pozemku. Proveďte se co nejhlubší orba, která zapraví zbytky předchozí produkce (louka, strniště), je – li pozemek ladem, je nutné předchází nárosty plevelů nebo dřevin zlikvidovat mulčováním. Jestliže se na pozemku vyskytuje větší množství oddenkových plevelů, je důležité před zaoráním je vyhubit systémovým herbicidem s dostatečným časovým předstihem před orbou tak, aby se účinná látka stihla transportovat do celé rostliny.

Po orbě necháme opět pozemek obrůst plevely, které včas vyhubíme opět herbicidem nebo diskováním pozemku spolu s jeho urovnáním do roviny. Používání řady herbicidů dnes podléhá přísným předpisům a není proto vhodné provádět jej laicky (Celjak, 2007).

Pokud je třeba pozemek se dohnojí umělými hnojivy a zapraví se diskováním. Před vlastní výsadbou smykujeme. Výsadbu řízků provádíme do II. poloviny dubna, do doby končících jarních přisušků (Hanzák, Potůček, 2009).

### 2.3.3. Výsadba:

Pro způsob výsadby, její hustotu a vhodný výběr klonů je rozhodující určení cílové produkce. Z tohoto pohledu můžeme produkční plantáže rozdělit na výše již uvedené –

- **dřevinné plantáže s krátkým obmytím**, které produkují energetickou dřevitou štěpku určenou pro spalování nebo spolu-spalování s jinými médii ve speciálních kotlích. Obmytí takových plantáží je velmi krátké, v rozmezí 3 – 6 let v podmínkách České republiky. Sklízí se kmínky stromků, které u země mají tloušťku nepřesahující 15cm. Na plantáž se vysazuje 6600 až 22200 ks dřevitých řízků na každý hektar. Topol se sází v řádcích s roztečí 3m mezi řádky a 0,5m v řádku. Vrby se vysazují do dvojřádků s roztečí 1,2m mezi řadami a 0,6m mezi řádky a 0,5m v řádcích.

- **dřevinné plantáže se střednědobým obmytím**, jsou určeny k produkci papírenské štěpky nebo k produkci energetické biomasy určené zejména pro lokální vytápění kamny nebo kotli vhodnými pro spalování dřeva. Obmytí plantáže se pohybuje od 6ti do 15ti let. Výsadba musí být řidší, většinou ve sponu 3 x 1,5m nebo 3x2m. Vysazuje se 1660 až 2200 sazenic na hektar. Plantáž se sklízí, dosáhnou-li stromy nebo výhony výšky 15 a více metrů.

- **dřevinné plantáže s dlouhým obmytím**, jsou určeny k výrobě dendromasy pro pilařský průmysl, pěstují se tedy obvykle vzrostlé stromy. Obmytí může být 15 až 30 let, záleží na využití narostlé hmoty. Sází se do sponů od 4x4 do 6x6m, 280 až 625 sazenic na 1ha. Před výsadbou proto musíme mít jasno, jaké určení narostlá biomasa bude mít (Hanzák, Potůček, 2009).

### 2.3.4. Péče po výsadbě:

Péče o řízky po výsadbě je dalším úkonem mající velký vliv na úspěšnost založení plantáže. Po vysázení je dobré ještě nerašící řízky postříkat speciálními herbicidy, které vytvoří na povrchu půdy film, který zabraňuje pronikání klíčících rostlin plevelů. V této době dochází k vyrašení letorostů z vysázených řízků a rostliny získají náskok před plevely. Po této době opět začnou plevele narůstat. Po dosažení stejné výšky s výhony se musí provádět meziřádková kultivace do hloubky cca 10 až 15cm. Vrby je dobré po prvním

roce po založení seřezat nad zemí. V následujícím roce obrazí a vytvoří několik kmínků, čímž se dosáhne vyšších výnosů při sklizni (Hanzák, Potůček, 2009).

### **2.3.5. Sklizeň:**

Se sklizní není v České republice dostatek zkušeností. Z ekonomického hlediska je nákup drahé a jednoúčelové mechanizace nereálný, proto se sklizeň provádí obvykle křovinořezy nebo motorovými pilami. Pořezané kmínky se nechají zaschnout 2 – 3 měsíce na místě, následně se hmota vyvozí a štěpkuje na centrálním místě. Mechanizovaná sklizeň se vyplatí pouze velkým pěstitelům nebo spolkům nebo specializovaným firmám, které sklizně nabízejí jako službu. (Sladký, 1993).

Sklizeň se provádí v době vegetačního klidu. Nejvhodnějším obdobím pro sklizeň RRD na štěpku jsou zimní měsíce (prosinec – březen), kdy je obsah vody v pletivech nejnižší (sušina dřevin dosahuje 50% hmotnosti), a je možno využít volných pracovních sil a strojů. Vhodné je také sklízet, když je půda zamrzlá a mechanizace nemá problémy s pohybem. Výnosy se pohybují okolo 10 – 15 t sušiny z hektaru (Kovářová, Abrahám, 2010).

Sklizeň se dá také rozdělit na vícefázovou nebo jednofázovou. První fázi vícefázové sklizně provádí např. jednoduché přídatné zařízení na traktor, které podřezává kmeny. Na menších plochách je pro sklizeň možno použít již zmíněné křovinořezy. Druhá fáze, která může navazovat rovnou na podřezání, jsou kmeny snopkovány (mechanizovaně nebo ručně) a následně se obvykle nechají proschnout (1 – 2 měsíce) na plantáži anebo na místě dalšího zpracování u skladu štěpky. Třetí fáze, fáze štěpkování, může probíhat přímo na poli nebo na jiném vhodném místě. Během 1 – 2 měsíčního proschnutí je štěpka dostatečně suchá (20-30% vody), energeticky velmi vydatná a je vhodná pro spalování v topeništích s nižším až středním výkonem (nad 100-200kW). Pro jednofázovou sklizeň se většinou využívají samojízdné, ale i tažné sklízecí stroje schopné okamžité výroby dřevní štěpky (řezanky) přímo po podřezání na poli. Takto sklizená štěpka má vyšší vlhkost, ale je snadněji manipulovatelná a dopravovatelná oproti kmenům a snopkům. Pro spalování vlhké štěpky jsou vhodné větší kotle nad 1MW např. s roštovým topeništěm (Hanzák, Potůček, 2009).

### **2.3.6. Ekonomické aspekty plantáží RRD:**

Hodnocení ekonomiky výmladkových plantáží a celého procesu produkce a využití biomasy pro energetiku je značně komplikované, protože v sobě zahrnuje posuzování projektů, jejichž náklady, ale i výnosy jsou závislé na lokálních podmínkách daného stanoviště. Dalším důvodem nepřesnosti údajů je používání nejednotné metodiky výpočtů, používání různých předpokladů a v některých případech i nedodržování zásad výpočtů ekonomické efektivity. Podle propočtů se cena štěpky, zatím nejčastějšího paliva z plantáží RRD u nás, může pohybovat od 1 100 do 2 000 Kč za tunu v závislosti na vlhkosti (a tedy i výhřevnosti), použité agrotechnice, technologii sklizně a samozřejmě na dosaženém výnosu.

Ekonomika projektů je z pohledu potenciálních investorů klíčová otázka, která v konečné fázi ovlivňuje jejich rozhodnutí o tom, zda projekt skutečně realizují, či nikoli, a zda bude dosaženo efektů, příznivých k životnímu prostředí. Cena pěstované biomasy je klíčovou otázkou a platí pro ni jednoduché pravidlo: pokud projekt není pro investora ekonomicky efektivní, nebude do něj investovat. Také je nutné respektovat, že cena komodity, pokud není trh regulován určitým zásahem ze strany státu, je výslednicí nabídky a poptávky (Vlasák, Weger, 2005).

Při využití současných znalostí a zkušeností, lze minimální cenu odhadnout ve výši cca 126 Kč/GJ za předpokladu mechanizované sklizně, kdy jsou náklady na sklizeň cca 600 Kč/t biomasy a počítá se s průměrným výnosem cca 156 GJ/ha/rok, bez dotace. V případě započítání dotace se pak minimální cena biomasy může pohybovat v rozmezí 90 -120 Kč/GJ a je počítáno s výnosem biomasy 110 -160 GJ/ha/rok. Z výše uvedeného vyplývá, že se do budoucna bude otevírat prostor pro vyšší konkurenceschopnost cíleného pěstování biomasy, přičemž jedním ze zdrojů budou výmladkové plantáže RRD (Hanzák, Potůček, 2009).

## **2.4. Obiloviny**

Obiloviny jsou rostliny využívané pro svá semena (zrna). Slouží především k lidské výživě – celá (rýže) nebo se melou na mouku. Zrna se také zkrmují a celé rostliny se využívají jako zelená píče. Nadzemní část se silážuje (kukuřice), zpracovává jako sláma (pšenice, ječmen), nebo se z ní vyrábí rohože, košíky, kartáče (čirok) apod. Celosvětový podíl obilovin na lidské výživě je odhadován na 60 až 70% (Malat'ák, Vaculík, 2008).

Pěstování obilovin k energetickým účelům má oproti jiným plodinám své přednosti. Výsev, ošetřování, hnojení, ochrana a sklizeň je zemědělcům dobře známá. Mohou začít produkovat biomasu pro energetické využití bez větších investic, protože obvykle vlastní potřebnou techniku. Půda zůstává stále k dispozici pro výrobu potravin, pěstování obilí je součástí osevních postupů, nevznikají časové prostoje do prvního výnosu a energetická bilance je zřetelně pozitivní. Pěstování obilí je jedna z nejvýhodnějších variant pro cílené pěstování uvažovaných energetických plodin. Ke sklizni obilovin, jsou k dispozici různé postupy, užívající běžnou techniku, která je právě k dispozici. Volba sklizňového postupu je závislá především na odběrateli. Obvyklý postup sklizně je takový, že se pomocí sklizňových mlátiček oddělí zrno a sláma a tyto produkty jsou pak zpracovávány každé zvlášť (Kovářová, Abrahám a kol. 2010).

Při přímém tepelném využití obilovin záleží především na výnosu biomasy, méně na kvalitě. Pro sklizeň celých rostlin je třeba použít speciálních postupů k získání směsi slámy a zrna. Zde je možné využití žacích strojů. Posečená hmota se nechá na strništi dosušit a pak se sklízí pomocí lisů nebo samosběracích vozů. Při tomto postupu je nutné počítat až s 10% ztrátami. Jako u každého paliva je spalování biomasy závislé na jejím chemickém složení a fyzikálních vlastnostech. Nejvýznamnější vlastností obilovin z hlediska spalování, vedle nízké objemové hmotnosti, je jejich rychlá a energeticky málo náročná zplynovatelnost. Z tohoto důvodu se při spalování obilovin tvoří velmi dlouhé plameny a tomu musí být přizpůsobeno i spalovací zařízení. Výhřevnost celých rostlin obilovin je v průměru jen málo nižší než u dřeva, rašeliny a hnědého uhlí. Největší vliv na snížení výhřevnosti má obsah vody, který je v suchém stavu asi 15-20%. Výhřevnost se pohybuje přibližně od 12 do 15 GJ/t, což zhruba odpovídá různým kvalitativním třídám hnědého uhlí (Havlíčková a kol. 2007).

Další vedlejší produkt, který se dá využít k výrobě energie a vzniká při sklizni obilovin je samostatná sláma. Rozeznáváme slámu obilnou: z pšenice, tritikale, žita, ječmene a ovsu a slámy kukuřičnou, řepkovou, slámu luskovin a lněné stonky. Sláma má význam pro půdu jen ve formě hnojiv nebo v kombinaci s kejdou, případně dusíkatým hnojivem, jinak prakticky v důsledku okysličování ve vrchních vrstvách půdy „shoří“ a je uvolněna z půdy ve formě oxidu uhličitého. Jestliže se rozkládá v hlubších vrstvách, je nebezpečí, že vznikne metan, který je pro životní prostředí ještě škodlivější. V případě nevhodného způsobu zaorávání slámy, zejména v sušších letech, se poměrně tvrdé částice

slámy nebo její shluky obtížně rozkládají a tím se vytváří nevhodné lůžko pro následné setí (Chmelík, 1996).

Potřeba slámy pro stelivové účely, se v posledních letech v ČR zmenšila vlivem snížení stavu skotu a přechodem části živočišné výroby na bezstelivové technologie. Pozvolna roste množství slámy využívané k energetickým a průmyslovým účelům. Sláma se používá jako palivo, v menší míře jako izolační anebo stavební materiál. Důležité však je, aby sklizená sláma splňovala potřebné kvalitativní parametry. Těch lze dosáhnout, vedle vhodného způsobu skladování, také včasným a vhodným způsobem sklizně a přepravy do místa skladování. Sláma zůstává při sklizni ležet zpravidla několik dní na řádku a dosychá. Rozhodující formou sklizené slámy jsou obří balíky, které umožňují jejich přímé spalování ve velkých výtopnách, ale po rozebrání i ve výtopnách menších nebo ve výrobnách briket či pelet (Havlíčková a kol. 2007).

Roční vyprodukované množství biomasy ve světě se odhaduje na  $20 \times 10^{11}$  t a její energetický potenciál na  $3 \times 10^{21}$  J, což téměř desetkrát převyšuje roční objem světové produkce ropy a plynu (Pastorek, 1996).

Velice důležité je že se jedná o zdroj energie trvale se obnovující. Vyprodukované biomasy se však zatím pro energetické účely využívá pouze asi 2-3%.

V našich podmínkách přichází v úvahu využití slámy obilní – pšenice, tritikale, žito, ječmen, oves, kukuřice. Energeticky využitelnou biomasu ale většinou nelze ve spalovacích zařízeních použít přímo, ale je třeba ji upravit do vhodného tvaru a rozměrů – často se jako koncové technologie této úpravy používají metody briketování a peletování. Kromě tvaru a rozměrů (velikosti) jsou velmi důležité i mechanické vlastnosti briket a pelet. Ty zásadním způsobem ovlivňují nejen způsob manipulace s briketami a peletami (způsob uskladnění, dávkování apod.), ale i ztráty při výše uvedených operacích (Havlíčková a kol., 2007).

Základním parametrem při lisování biopaliv je vlhkost, která když při lisování přesáhne hranici 20%, biomasa se v lisovací komoře nezhutní do požadovaného rozměru a briketa nebo peleta se rozpadne. Proto se doporučuje vlhkost maximálně do 15% pro kvalitní zhutnění. Při zpracování biomasy můžeme rozlišovat různé systémy tvarovacích zařízení:

- pístové hydraulické nebo mechanické lisy jednorázové s průměrem briket 50 až 60mm, univerzální na slámu, piliny, papír, pazdeří, které většinou pracují v kombinaci s kalibrovacím drtičem

- šnekové lisy jednovřetenové nebo dvouřetenové – brikety ze šnekových lisů se vyznačují vysokým stupněm stlačení a velkou trvanlivostí. Tyto lisy jsou vhodné na lisování pilin, není je však vhodné využívat pro lisování stébelnin
- protlačovací, granulační lisy, odvozené od granulačních lisů na výrobu tvarovaných krmiv na bázi slámy

Energeticky je výroba briket a pelet poměrně náročná, protože vyžaduje vyšší úroveň dezintegrace vstupního materiálu při současném snížení jeho vlhkosti. Výhodná je proto jejich výroba již z materiálu vysušeného a dezintegrováného v průběhu jiného, předcházejícího technologického procesu. Základní druhy vyráběných pevných lisovaných biopaliv s krátkou charakteristikou:

a) dřevní, slaměné, kůrové a papírové pakety – směsná, nahrubo drcená biomasa slisovaná středním tlakem do tvaru válců o průměru do 150 mm a délky 300 až 500 mm, s objemovou hmotností kolem  $0,3 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ , obsahem vody do 18%, výhřevnost do  $15 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Nejsou jednoznačným obchodním palivem, představují produkt technologické úpravy směsného paliva, výrobních zbytků a obalů ve skladech před topeništěm. Účelem úpravy je zvýšení koncentrace energie a úspora skladovacího prostoru. Vhodné jsou jako energeticky podpůrné palivo

(Malat'ák, Vaculík, 2008).

b) peletky ze stébelnin – mechanicky pod velkým tlakem zpracované suché, drcené stébelniny (sláma obilovin, olejnin, travin, energetických bylin, obsah vody 8 až 15%), do tvaru válečků o průměru 6 až 20 mm (výjimečně hranolů o průměru do 40 mm), délky od 10 do 50 mm s měrnou, objemovou hmotností 1 až 1,2 ( $1,4$ )  $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Výhřevnost 16,5 až  $17,5 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  (ze slámy olejnin až  $19 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Obsah popele 5 až 6% (Malat'ák, Vaculík, 2008).

c) brikety ze stébelnin – mechanicky pod velkým tlakem slisované suché drcené nebo nakrátko řezané stébelniny (sláma obilovin, olejnin, travin a energetických bylin, semena plevelů s obsahem vody 8 až 14 %) do tvaru válečků nebo šestistěnnů o průměru 40 až 100 mm, délky do 300 mm s měrnou objemovou hmotností až  $1,2 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3}$ . Výhřevnost 16,5 až  $17,5 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ , ze slámy olejnin až  $19 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Obsah popele 5 až 6 % (Malat'ák, Vaculík, 2008).

d) brikety a peletky kompozitní – mechanicky pod velkým tlakem zpracované suché, drcené substráty s převahou dřevní nebo stébelnaté hmoty s přidavkem normou stanoveného uhelného prachu s nízkým obsahem síry, vápenného prachu, papíru a ekologických pojiv (škrobu a melasy). Obsah vody 8 až 15 %, výhřevnost do 22 MJ.kg<sup>-1</sup>. Průměr do 20 mm a délka do 50 mm. Obsah popele do 8 % v sušině. Perspektivní tvarovaná kombinovaná biopaliva pro univerzální použití (Malat'ák, Vaculík, 2008).

e) balíky stébelnin –

- nízkotlaké s měrnou hmotností kolem 60 kg.m<sup>-3</sup> a hmotností kusu 3 až 10 kg
  - vysokotlaké s měrnou hmotností kolem 120 kg.m<sup>-3</sup> a hmotností kusu 10 až 20 kg
  - obří válcové s měrnou hmotností kolem 110 kg.m<sup>-3</sup> a hmotností kusu 200 až 300 kg
  - obří hranolové s měrnou hmotností kolem 150 kg.m<sup>-3</sup> a hmotností kusu 300 až 500 kg
- (Malat'ák, Vaculík, 2008).

### **Bylinná biomasa**

Jednotlivé vzorky bylinné biomasy využitelné k energetickým a průmyslovým účelům. Ke každému druhu je doplněna jeho podrobná charakteristika. Jednotlivé rostlinné druhy jsou popsány s ohledem na jejich zemědělské a potravinářské, ale zejména energetické a průmyslové využití.

#### **2.4.1. Pšenice (*Triticum L. sp.*)**

Pšenice je rod jednoděložných rostlin z čeledi lipnicovitých (Poaceae) s přibližně 20 druhy. Zahrnuje jak šlechtěné, tak planě rostoucí druhy. Pšenice jsou jedny z nejstarších rostlin pocházejících z jihozápadní Asie.

Pšenice se pěstuje ve všech výrobních oblastech ČR. Je velmi náročnou plodinou na půdní podmínky a obsah živin v půdě. Nejvhodnější půdy jsou střední až těžší s neutrální až slabě kyselou půdní reakcí (pH 6,2 – 7,0). Nevhodné jsou půdy lehké, vysychavé, kyselé a zamokřené.

Pšenice poskytují zrno, které se používá jako potravina, krmivo a jako surovina. Zpracovávají se také stébla (sláma) a otruby (semenné slupky a mouka). Výhodou pšenice, tak jako u jiných obilovin je poměrně jednoduchá skladovatelnost a poměrně dlouhá trvanlivost. Pšenice mají vysokou výživnou hodnotu. V Evropě jsou základní potravinářskou surovinou pro výrobu pečiva, těstovin a rozmanitých pokrmů. Průmyslově



se pšenice využívá jako surovina k výrobě škrobu, lihu nebo piva (zdroj internet Wikipedie). Velkou předností je to, že může produkovat biomasu bez větších investic na pořízení nové techniky. Rozšířené pěstování obilovin je proto jednou z nejvhodnějších variant pro cílené pěstování k energetickým a průmyslovým účelům. Podle většiny odborníků je bez negativního vlivu na úrodnost půdy možné odebrat z koloběhu živin 25 až 33 % každoročně sklizené slámy a použít ji pro energetické a průmyslové účely (Malat'ák, Vaculík, 2008).

Jako energetická surovina je vhodná sláma po sklizni provedené sklízecí mlátičkou, která oddělí zrno od slámy. Zrno se využije k průmyslovému zpracování, ke krmným účelům nebo spalování, sláma ke krmení, k zaorání, ke spalování. Výhřevnost slámy pšenice se pohybuje přibližně od 12 do 15 MJ.kg<sup>-1</sup> při obsahu sušiny 80-85% hmotnosti. V poslední době se začíná využívat rovněž pro výrobu stavebních panelů (Kovářová, Abrahám, 2010).

#### **2.4.2. Oves (*Avena L.*)**

Oves je jednoděložná rostlina z řádu lipnicotvaré (Poales), podčeledi lipnicové (Pooideae) a čeledi lipnicovité (Poaceae). Oves je obilnina pěstovaná za účelem zisku semen, oves se pěstuje jako zelená píce či krycí plodina. Nejrozšířenější druh ovsa je oves setý (*Avena sativa*).

V poslední době se oves stal zajímavou surovinou pro potravinářský průmysl.

Hlavním produktem je zrno, vedlejším produktem je sláma ovsa. Z ovesné mouky se připravuje různé pečivo, ovesné vločky jsou oblíbeným základem „zdravých“ pokrmů, ovesný šrot se zkrmuje a ovesná sláma je hlavně používána jako stelivo, ale také jako energetická surovina k výrobě fytopaliv pro přímé spalování nebo zplyňování za účelem výroby tepla nebo elektřiny. Oves, společně s pšenicí, ječmenem a žitem je jednou z nejrozšířenějších obilnin mírného pásma (Malat'ák, Vaculík, 2008).

#### **2.4.3. Žito (*Secale L.*)**

Žito je rod jednoděložných rostlin z podčeledi lipnicové (Pooideae) a čeledi lipnicovitých (Poaceae) s přibližně 12 druhy. Žito vzniklo z plevelného druhu pocházejícího z Přední Asie a z Kavkazu. Kulturní druh, žito seté (*Secale cereale L.*), je obilnina pěstovaná za účelem zisku semen, ze kterých se vyrábí potraviny a krmiva.

Pěstuje se též jako pícnina či meziplodina. Žito je nenáročnou obilovinou, jejíž předností oproti jiným druhům obilovin je rychlý počáteční vývoj. K energetickým účelům se dají sklízet celé rostliny ve stádiu mléčné zralosti, pro použití v zařízeních na výrobu bioplynu. Společně s pšenicí, kukuřicí a ječmenem je to jedna z nejrozšířenějších obilnin nejenom v mírném pásu. Zrno se používá na výrobu mouky, jako krmivo či se z něho vyrábí alkohol ( Malaťák, Vaculík, 2008).

#### **2.4.4. Triticale (*Triticosecale* Wittm.)**

Tritikale (žitovec) je mezidruhový kříženec pšenice seté a žita setého. V praxi jsou odrůdy genotypicky tzv. pšeničné nebo žitné. Žitovec využíváme na zrno ke krmení a celé rostliny jako krmivo – čerstvá píce (Beneš, Petr, 2001).

Pro využití k energetickým účelům se využívají pro přímé spalování celé rostliny, zrno, sláma. Další možností získávání energie z triticales je výroba bioplynu z celých rostlin sklizených a silážovaných na počátku mléčné zralosti. Tento technologický proces prochází zkušebními testy a při současných rostoucích cenách se jeví méně efektivní podobně jako výroba bioetanolu (Havlíčková a kol., 2008).

#### **2.4.5. Agrotechnika obilovin:**

V hierarchii cílů při zpracování půdy je na předním místě omezení plevelů a regulace uvolňování živin při mineralizačních pochodech, ale také optimální pórovitost pro provzdušňování půdy, vodní režim a snadný rozvoj kořenové soustavy. Podle stavu zaplevelení, druhu a stavu půdy, doby hnojení, druhu a dávky hnojiv je třeba volit typ mechanizace, dobu a hloubku zpracování půdy i počet zásahů a intervalů mezi nimi. Nevhodně zvolený zásah může vést k nevhodné půdní struktuře a anulovat pozitivní efekt organické hmoty (Konvalina, 2007). V praxi jsou vyhledávány postupy omezující a slučující pracovní operace. Výhodou je snižování nákladů na přípravu seťového lůžka a především šetření půdní vláhou. Tím se zabezpečí stejnoměrné a včasné vzejití porostů (Tichý, 2001).

Při zakládání porostů ozimých obilnin je po strniskových předplodinách základním opatřením při zpracování půdy včasná podmítka ošetřená válením či vláčením podle stavu půdy a podmínek počasí. Klasická seťová orba se provádí do hloubky 16 – 24 cm a to 4 – 6 týdnů před setím v relaci k předplodině. Účelem předseťové přípravy půdy je připravit dostatečně kypré a vlhké seťové lůžko. K jarním obilninám se doporučuje po sklizni

předplodiny současně s podmínkou a jejím ošetřením zasít meziplodinu na zelené hnojení. Před nástupem zimy se provede hluboká podzimní orba, a pokud to dovolí časný nástup jara, tak je vhodné pozemek převláčet lehkými branami. Vhodné zpracování půdy přispěje k dobrému vývoji rostlin, zlepší jeho zdravotní stav a omezí výskyt plevelů (Konvalina, 2007).

Obilniny mělce koření, odčerpávají živiny a vláhu především z vrchní vrstvy ornice. Pro svůj růst a vývoj potřebují v půdě pohotové, lehce přístupné živiny. Z půdy odebírají především fosfor a dusík. V půdě zanechávají průměrné množství posklizňových zbytků nízké kvality vzhledem k širokému poměru C:N. Dusíkaté hnojení je řešeno aplikací dělených dávek dusíku (regenerační, produkční, kvalitativní). Harmonické hnojení podporuje konkurenceschopnost kulturních plodin, rychlejší olistění, lepší zastínění povrchu půdy (Moudrý, 2007).

#### **2.4.6. Kvalita biomasy obilnin:**

Pěstování obilnin, jako jednoletých plodin k energetickým účelům má oproti jiným plodinám přednost zvláště v tom, že technologie jejich pěstování se v zásadě neliší od běžných postupů, nevyžaduje větších investic, nevzniká časová prodleva do prvního výnosu a energetická bilance je výrazně pozitivní. Při přímém tepelném využití obilnin záleží prvořadě na výnosu biomasy, méně na její kvalitě.

Vlhkost v biomase určené ke spalování by měla být co nejnižší, aby bylo zajištěno ekologické a efektivní spalování. Vlhkost biomasy by neměla přesáhnout 20 % hmotnosti, optimální je 15 % hmotnosti. Pro dosažení přiměřeného výnosu se nevyužívá dělené výživy porostů dusíkem a ušetří se i na pesticidech.

Při spalování biomasy obilnin je třeba zohlednit hnojivou hodnotu slámy. Podle propočtů je možno bez negativního vlivu na úrodnost půdy odejmout z koloběhu látek 25 – 33 % každoročně sklizené slámy pro průmyslové a energetické účely. K významným vlastnostem obilnin z hlediska spalování patří nízká objemová hmotnost a jejich rychlá a energeticky nenáročná zplynovatelnost. Výhřevnost slámy a celých rostlin obilnin je v průměru o něco nižší než u hnědého uhlí a třikrát nižší než má topný olej. Pohybuje se od 12 do 15 MJ.kg<sup>-1</sup> v závislosti na sušině (Pulkrábek, Capouchová, 2011).

#### **2.4.7. Kukuřice setá (*Zea mays L.*)**

Kukuřice patří do čeledi lipnicovité skupiny Maydeae. Využívá se jak pro nepotravinářské, tak i pro potravinářské účely. Nepotravinářské využití kukuřice je využití škrobu. Fytomasu kukuřice a zrno lze využít ke krmivářským účelům, nebo k energetickým účelům. Olej z kukuřice se zpracovává v kosmetickém a farmaceutickém průmyslu (Jančík, Tichý, 2001).

Celé rostliny se dají využít jako krmivo (siláž, zelené krmení), pro výrobu bioplynu, přímé spalování biomasy. Při pěstování kukuřice k energetickým účelům není cílem dosáhnout co nejvyšší podíl zrna v biomase (Havlíčková a kol., 2008).

#### **2.4.8. Agrotechnika kukuřice a kvalita biomasy kukuřice:**

Kukuřice nemá významné nároky na půdu a je jí možné pěstovat na všech orných půdách. Pro kukuřici je důležitá výše teploty a její průběh v době vegetace. Kukuřice je teplomilná rostlina a nároky na celkovou sumu teplot v průběhu vegetace jsou vysoké. Optimální průměrná denní teplota pro růst kukuřice je nad 22°C. Kukuřice je výrazně světломilný druh. Pro tvorbu sušiny je nejpříznivější délka fotoperiody 17-18 hodin. Kukuřice má velké nároky na vodu. Svou produkcí odčerpává velké množství živin z půdy. Organická hnojiva v systému pěstování kukuřice mají významné postavení při obnově a vytváření půdní úrodnosti. Dusík je základním prvkem pro nárůst biomasy. Zpracování půdy se řídí podle předplodiny. Po obilnině je to zpravidla podmínka a orba, podle oblasti a půdních podmínek je možné zvážit minimalizaci zpracování půdy. Kypření se provádí před setím. Pokud není správně založen porost, je negativně ovlivněn výnos biomasy. Při pěstování kukuřice na výrobu bioplynu se využívají hybridy doporučené k silážním účelům a mají maximální potenciál pro výrobu bioplynu. V současné době jsou vytvářeny hybridy „energetické kukuřice“, které velmi vysokého výnosu biomasy především dosahují prostřednictvím listové a stonkové hmoty. Dosažení vysokého a stabilního výnosu biomasy pro výrobu bioplynu je založeno na volbě vhodných hybridů (Havlíčková a kol., 2008).

Kukuřice skýtá vysoký energetický potenciál a to přibližně 324 000 MJ/ha. Optimální obsah sušiny pro vklad do bioplynové stanice je 30 – 33 %. Nad tuto hodnotu již klesá degradovatelnost biomasy (je způsobeno vyšším obsahem ligninu v rostlině – je velmi obtížně fermentovatelný (Trnavský, 2010).

## 2.5. Monokultury trav

Fytomasu jednoletých a víceletých trav je možné využít energeticky spalováním, pyrolýzou (teplo – termický proces – působení na odpad teplotou, jež přesahuje mez jeho chemické stability), zplyňováním (metan, čpavek, dehet), zkapalňováním (olej), esterifikací (metylester řepkového oleje), anaerobní digescí (bioplyn, metan), alkoholovým kvašením (etanol) a kompostování (teplo z kompostu). Fytomasa se tak energeticky využívá suchou cestou (spalování a zplyňování rostlinné hmoty o sušině 50 – 80 %) nebo mokrou cestou (anaerobní fermentaci mokré hmoty pomocí speciálních bakterií bez přístupu vzduchu, přičemž je uvolňován metan jako zplodina metabolismu, který je využíván pro sdruženou výrobu elektrické energie a tepla – kogenerace. Fytomasa jednoletých a víceletých trav se podílí na využití přebytečné půdy pro pěstování energetických rostlin, účelné údržbě krajiny a vytvoření nových pracovních míst v regionech (Havlíčková a kol., 2007).

Pro výrobu energie z obnovitelných zdrojů energie, jsou k dispozici různé zelené rostliny, tzv. energetické plodiny. Účinnost potenciálu využití energie z těchto plodin závisí na způsobu pěstování a na obsahu hlavních komponent – celulóza, hemicelulóza, lignin a popel (Godin, Delcarte a kol., 2010).

V současné době se pěstují i rostliny výhradně pro energetické účely. Ověřovány jsou různé plodiny pro energetické využití, šlechtitelé hledají vhodné odrůdy, jak po stránce výnosu, tak i kvality produkované suroviny (Berka, 2009).

K získání hmoty pro spalování lze využít značného množství rostlinných druhů. Je však třeba tyto rostliny odzkoušet přímo v konkrétních podmínkách. Využití rostlin lze kombinovat. U některých lze spalovat pouze hmotu jako odpad při sklizni nebo lze spalovat veškerou vyprodukovanou nadzemní rostlinnou hmotu, ale většinou je nutná předchozí úprava rostlinné suroviny, např. do podoby lisovaných peletek. Výběr plodin je závislý rovněž od typu půdy a klimatických podmínek. Pro tyto účely lze vybrat značné množství plodin od jednoletých až po víceleté. Z trav lze uvést psineček veliký (*Agrostis gigantea*), ovsík vyvýšený (*Arrhenatherum elatius*), kostřavu rákosovitou (*Festuca arundinacea*), sveřep bezbranný (*Bromus inermis*). Při vytrvalosti kolem čtyř roků lze získat u těchto trav 4 až 8 tun sušiny z hektaru ročně (Berka, 2009).

Jednotlivé vzorky monokultur trav využitelné k energetickým a průmyslovým účelům. Ke každému druhu je doplněna jeho podrobná charakteristika. Jednotlivé rostlinné

druhy jsou popsány s ohledem na jejich zemědělské, ale zejména energetické a průmyslové využití.

### **2.5.1. Sveřep bezbranný (*Bromus inermis*)**

Sveřep bezbranný se v současné době využívá jako krmná plodina, podobně jako jiné trávy. V poslední době se u nás začíná doporučovat i pro energetické účely kvůli svému vysokému vzrůstu, hrubému stéblu a relativně vysokému výnosu suché hmoty. Sveřep bezbranný je statná, vysoce vzrůstná vytrvalá výběžkatá tráva. Má růstové schopnosti obdobné žitu, což je zárukou vysoké tvorby výnosů celkové nadzemní hmoty. Tyto vlastnosti jsou nespornou výhodou pro jeho využívání ve fytoenergetice. Sveřepky (*Bromus*) jsou zařazeny v rámci čeledě Poaceae do podčeledi Pooiceae. Vzhledem k jejich výrazně zaobleným škrobovým zrnům jsou zařazeny do nově vytvořené skupiny Bromeae, která se více blíží k obilninám než travám. Sveřep bezbranný je statná tráva s listy světle zelené až šedozelené barvy, intenzivně rostoucí s dlouhými podzemními výběžky, které koření až do hloubky 20 cm. Čepele listů jsou až 45 cm dlouhé, mladé listy jsou v pochvě stočené. Sveřep bezbranný vytváří četné sterilní výhony vysoké 30 – 50 cm. Plodná stébla jsou bohatě olistěná a dosahují výšky až 120 cm. Květenství je mohutná lata, jednostranná, dlouhá 10 – 15 cm. Obilka je bezosinná, dlouhá 10 – 15 mm. HTS je 4,57g. Počet semen v 1 g je 300. Sveřep bezbranný má mnoho variabilních znaků, podle nichž byly vytvořeny dvě skupiny: luční pro vlhčí stanoviště a stepní, vhodná pro jižní sušší oblasti. Mezi nimi je přechodná forma lesostepní (Petříková, 2006).

Sveřep bezbranný se v současné době využívá jako objemná píce, nebo se pěstuje na semeno. V poslední době se ukazuje, že biomasa této statné trávy může být vhodná i pro účely fytoenergetiky. Z tohoto hlediska má sveřep bezbranný i příznivé vlastnosti složení popela, neboť obsahuje méně chloru i drasla (než např. kostřava rákosovitá), což snižuje nebezpečí spékání popela při spalování v prostorách kotle (Kocourková a kol, 2004).

Pro přímé spalování jí lze využívat ve formě velkých balíků – hranatých nebo i válcových, případně z ní vyrábět i topné peletky, které jsou vhodné pro automatické přikládání do kotlíků a kamen. Obecně je známo, že vlastnosti této suché travní hmoty se nijak zvlášť neliší od ostatních trav využívaných pro účely energie. Ekonomické parametry pěstování sveřepu bezbranného jsou dosud známé jen při využívání produktu jako objemné píce nebo osiva (Petříková, 2006).

V roce 1998 byla v České republice registrována první odrůda sveřepu horského „Tacit“ (Míka a kol., 2003). O její vytrvalosti svědčí skutečnost, že na šlechtitelské stanici se porost sklízela na semeno 6 let po sobě a ještě v posledním roce poskytl 1,35 t/ha čistého osiva. Roční produkce sušiny činí kolem 10 – 15 t.ha<sup>-1</sup>, s relativně velice rovnoměrným rozložením ve 3 – 4 sečích. Nejvyšších výnosů píce dosahuje ve 2 – 5 roce. Při využívání biomasy sveřepu pro energetické účely dosud nejsou ekonomické ukazatele k dispozici, protože zatím nebyly tyto porosty velkoplošně zakládány speciálně pro tyto účely. Sveřep bezbranný tak může být rovněž praktickým příspěvkem k rozšíření sortimentu energetických bylin, což je z hlediska biodiverzity využívaných druhů vždy vítané (Petříková, 2006).

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

Kostřava rákosovitá je vysoká hustě trsnatá tráva, na jaře brzy obrůstá a zůstává zelená dlouho do podzimu. Vyznačuje se vysokou tolerancí k půdním a klimatickým podmínkám, snáší dobře sucho i krátkodobé zamokření, daří se jí dobře na stanovištích s vyšší hladinou podzemní vody. Je vytrvalou rostlinou, dorůstá do výšky až 2 metrů. Stéblo je přímé, hladké, velmi dlouhé. Má bohatý kořenový systém, který proniká až do 1,5 metru. Má dobrou sorpci vody a živin. Kostřava má široké přizemní listy, drsnější, jazýček krátký, ouška malá, úzká, na okrajích brvitá. Listová čepel je dlouhá 70 cm, široká 1 cm, na líci krátce chlupatá nebo drsná, na rubu hladká. Květenstvím je lata dlouhá až 40 cm s četnými převislými klásky. Lata je řídká a rozkladitá, větveno a větve latic jsou drsné. Spodní větve mívají 5 – 8 klásků, které jsou 4 – 8 květe. Kostřava má mimořádnou ekologickou přizpůsobivost, je vyhraněně ozimého charakteru, velmi odolná k suchu, odolná k záplavám, náročná na živiny v půdě, dává přednost těžším půdám, ale je citlivá k okyselení půd (Havlíčková a kol., 2007).

Kostřava rákosovitá je vytrvalá tráva s vysokým výnosovým potenciálem. Poskytuje výnosy suché hmoty od 3,98 – 8,5 t/ha. HTS je 2,4 – 2,8g. Má význam v trvalých travních porostech, ale také v jetelotravních směsích na orné půdě. Pro krmné účely je třeba ji používat v mladé fázi vývoje. Rychle stárnoucí pletiva proto předurčují tuto travu jako vhodnou pro energetické využití. Tradičně se využívají porosty s příměsí kostřavy rákosovité ke krmným účelům – seno, senáž, pastva. Výhodné je pěstování kostřavy rákosovité na semeno. Po výmlatu porostu lze s úspěchem využít slámu pro energetické účely. Balíky – hranaté nebo válcové – lze využít k přímému vytápění

v biokotelnách. Podobně se použijí balíky i řezanka z porostů záměrně pěstovaných pro energetické účely. Tato biomasa pak po zpracování na tvarovaná fytopaliva ve formě pelet nebo briket slouží pro vytápění v kotlích i kamnech s automatickým příkládáním (Petříková, 2006).

Pro využití v bioplynových stanicích je vhodné sklízet ještě zelenou travní hmotu s optimálním obsahem sušiny 25 – 40 %. Při jedné seči na konci vegetace dosahuje obsah sušiny 66 – 71 %, při první seči u dvousečných variant 39 – 48 % a při druhé seči průměrně 45 % (Havlíčková a kol., 2007).

### **2.5.3. Psineček veliký (*Agrostis gigantea* Roth.)**

Psineček veliký je vytrvalá, středně vysoká kulturní tráva dobře snášející silné mrazy. Roste na půdách se střední zásobou živin, kde se náročnější trávy nemohou uplatnit. Je vhodný do pastevních směsí. Trs je polovzpřímený, středně vysoký cca 60 – 100 cm, hustší, tmavozelený. Květenství je lata s velmi drobnými semeny. HTS je 0,16 g. Rostlina tvoří krátké výběžky. Velmi dobře snáší sešlapávání, má mělký kořenový systém a obtížněji snáší sucho. Uplatňuje se v lučních a pastevních směsích jako doplňková tráva, která snáší velmi dobře zastínění a zamokření. Psineček veliký (odrůda rožnovský) vznikl výběrem z krajových odrůd a ekotypů. Udržovací šlechtění provádí šlechtitelská stanice Slavice. Patří mezi energetické byliny – rostliny cíleně pěstované pro produkci energie. Psineček veliký dosahuje podle některých autorů ze skupiny kulturních trav nejvyššího výnosu sušiny 8,06 – 10,17 t/ha.

Tradičně se psineček veliký využívá jako součást objemné píce ke krmení hospodářských zvířat. Zelená hmota nebo i senáž se může dobře uplatnit i jako přídavek do fermentoru při výrobě bioplynu. Pro energetické účely se v současné době doporučuje využívat suchou biomasu k přímému spalování. Jedná se o slámu po výmlatu semene, tak o celkovou nadzemní hmotu pěstovanou záměrně pro energetické účely. Důležitým produktem je osivo, které velmi významným způsobem zlepšuje ekonomické parametry pěstování psinečku velikého a to i v případě jeho cíleného pěstování jako energetickou biomasu (Petříková, 2006).



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

Ovsík vyvýšený je víceletá vřzrútná tráva, využívaná tradičně jako kvalitní pícnina. Dorústá až do výšky 150 cm, proto má dobré předpoklady i pro využití k energetickým úcelům. Jedná se o trávu domácího původu, proto se jí v našich podmínkách dobře daří. Ovsík vyvýšený je volně trsnatá, vysoká tráva jarního charakteru. Plodná stébla ovsíku dosahují 120 – 150 cm. Trs je vzpřímený, středně hustý, v průměru je vysoký 80 – 130 cm. Stéblo je hrubší, se středním olistěním. Listy jsou široké, dlouhé, typicky převislé, řídce ochmýřené. Má delší latu, semeno je osinaté. Ovsík vyvýšený má široce rozvětvenou kořenovou síť pronikající většinou hluboko do půdy, takže dobře odolává i přísuškům. Je středně odolný vůči chorobám. Ovsík poměrně dobře obrústá, ale nesnáší sešlapávání. Jedná se o trávu víceletou, vydrží na stanovišti tři roky (až 5 let). U nás je známá a povolena odrúda Rožnovský – od r. 1940. Je to odrúda středně pozdní. Byla vyšlechtěna výběrem z přirozených porostů na Valašsku, v tehdejší Zemské výzkumné stanici pícninářské v Rožnově pod Radhoštěm (Petříková, 2006).

Ovsík pěstovaný na semeno dozrává zpravidla již začátkem července a v té době je vhodné jej sklízet i pro využití k energetickým úcelům. Po výmlatu semene lze suchou slámu slisovat do hranatých balíků a použít jako otop v biokotelně. Výnos semene se pohybuje od 0,3 – 0,6 t/ha. HTS je 2,8 -3,6 g. Pro účely výlučně energetické se sklízí celková nadzemní hmota, kde se uvádí průměrné výnosy kolem 7 – 9 t/ha (Petříková, 2006).

#### **2.5.5. Srha říznačka (*Dactylis glomerata* L.)**

Srha se řadí mezi nejvýnosnější trávy se širokým uplatněním v nejrůznějších podmínkách. Vyniká velmi příznivou reakcí na hnojení a výborně zhodnotí vyšší dávky N. Plného výnosu dosahuje již ve 2. – 3. roce vegetace. Při dostatečné výživě, vláze a v příznivých podmínkách vydrží v porostu 6 – 10 let, avšak po 5. roce její vitalita a výnosnost klesá (Šantrůček a kol., 2001).

Srha je statná, vytrvalá a vytváří husté, pevné trsy. Dorústá do výšky až 1,5 m. Má dlouhé přízemní listy rostoucí z mohutného bohatého kořenového systému. Drsná stébla dosahují výšky až 140 cm a nesou staženou latu. Pochvy dolních listů jsou hnědé a kožovité. Velké listové čepele jsou ploché, špičaté a jsou v pochvě složené. Bývají převislé, na okrajích drsné, až 15 mm široké a přes 80 cm dlouhé. Květenstvím vytváří šedozelené až načervenalé, trívěté až pětivěté, strboulovitě nahlučené, silně zploštělé

klásky. Žlutavé a žlutohnědavé pluchaté obilky jsou až 8 mm dlouhé. HTS je 0,7 – 1,3 g. Obrůstá již časně na jaře a poskytuje poměrně časně vysoké výnosy kvalitní píce (Šoltésová, 2006).

Je to tráva převážně až vyhraněně ozimého charakteru a proto v roce setby a v otavě nemetá. Po sečích obrůstá dlouze olistěnými vegetativními výhonky. Na půdách s vyšším obsahem přístupných živin, zvláště dusíku, silně potlačuje ostatní druhy a ve smíšených porostech se stává dominantní trávou. V našich klimatických podmínkách je srha plastickým druhem. Nejlépe ji vyhovují dostatečně vlhké, písčitohlinité až hlinité humózní půdy s pH 6, i když dobře snáší i slabě kyselé půdy. Nevyhovující jsou extrémně těžké půdy. Na extrémně lehkých a vysychavých půdách dává nižší výnosy horší kvality, neboť se zvyšuje obsah ligninu a křemíku v píce. Kvalita píce srhy říznačky je do fáze metání výborná. V době zakvétání dochází k prudkému nárůstu obsahu vlákniny. Velmi dobře snáší sešlapávání a častější sečení. Dobře se uplatňuje i na zastíněných místech (Šantrůček a kol., 2001).

Využití srhy je všestranné. Lze ji sklízet pro pícní využití, pro energetické využití na výrobu bioplynu. Pokud by se měla používat srha pro účely spalování přímo v kotlích nebo na výrobu pelet nebo briket, je třeba ji dosoušet (dosoušení vyvolává dodatečné náklady). Biomasa je někdy využívána jako mulč. Výnos biomasy (sena) činí 10,5 – 12,5 t/ha. Ve víceletém průměru odrůdových pokusů poskytovala při trosečném využití 13,2 t a při pětitečném simultativním pastevním využití 10,2 t.ha<sup>-1</sup> sušiny (Havlíčková a kol., 2008).

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

Bojínek luční je výnosná a otužilá tráva. V sortimentu trav vlhčího mírného klimatického pásma zaujímá významné místo, a to zejména pro snadné semenářství a vysoký množitelský koeficient. V chladnějších a vlhčích oblastech se uplatňuje jako komponent jetelovinotravních, lučních a pastevních porostů (Šantrůček a kol., 2001).

Bojínek luční je zařazen mezi vytrvalé traviny. Dorůstá výšky 30 až 120 cm. Vždy a všude se vyskytuje ve zřetelných trsech. Jeho stébla jsou rovná nebo v kolénkách vystoupavá. Zelené čepele listů jsou lysé a drsné. Délka listů je přibližně 5 – 12 cm. Květenství má husté, válcovité dlouhé 5 – 20 cm. Tlusté lichoklasy jsou příjemně šedozelené barvy. Plevy krátce osinaté, na kýlu brvité, pluchy lysé. Plodem je obilka

vejčitého tvaru, mírně zašpičatělá, bělavá, velmi často vypadávající z pluch. Délka obilky je 1,4 – 2,2 mm. HTS 0,4 – 0,6 g (Šoltésová, 2006).

Plných výnosů píce dosahuje již ve 2. – 3. roce vegetace. Po zasetí se rychle vyvíjí. Je to velmi otužilý druh dobře snášející déle ležící sněhovou pokrývku, holomrazy i pozdní jarní mrazíky. Vytrvalost bojínku dosahuje 6 – 10 roků. Je náročný na vláhu a tolerantní na mírné přechodné zamokření. Metá až na začátku června a v otavě tvoří sterilní i plodná stébla. Vyznačuje se velmi příznivou konkurenční schopností. Vyhovuje mu bramborářská a horská výrobní oblast, kde při dostatečném hnojení a sečném využívání patří mezi nejvýnosnější trávy. Na půdní druh a půdní typ není náročný. Je důležitým druhem pro dočasné i trvalé luční a pastevní porosty, zvláště pro vlhčí stanoviště ve vyšších polohách. Biomasa bojínku lučního je vhodná ke spalování a pro energetické účely. Výnosy biomasy se pohybují zhruba od 6,8 – 10,5 t/ha (Šantrůček a kol., 2001).

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

Další z alternativních plodin, o jejímž rozšířeném pěstování pro průmyslové a energetické využití se uvažuje, a to hlavně v SRN je chrastice rákosovitá. Chrastice rákosovitá, nazývaná také lesknice rákosovitá, je vytrvalá tráva relativně náročná na vodu a živiny, nenáročná na agrotechniku, dávající ve vhodných podmínkách vysoké výnosy nadzemní fytomasy. Je to vytrvalá cizosprašná výběžkatá tráva. Výška stébel často přesahuje 2 m. Mohutná přímá stébla jsou zakončena dlouhou jednostrannou latou. Plodem je vejčitá nahá obilka 1,55 – 4 mm dlouhá a 1 mm široká s HTS okolo 0,8 g. Sterilní výhony jsou stébelné, hustě olistěné. Listy jsou dlouhé a široké. Chrastice rákosovitá vytváří dlouhé podzemní oddenky, které jsou rozprostřeny těsně pod povrchem půdy. Kořenový systém je mohutný, jdoucí do značné hloubky. Lze ji pěstovat také pro senokosné účely, ale není příliš vhodná pro pastevní účely, protože nesnáší nadměrné sešlapávání. Nejlépe se jí daří na těžších půdách s bohatou zásobou živin. Na půdní reakci není zvláště citlivá. Je dobře přizpůsobivá půdní reakci v rozmezí pH od 4 do 7,5 s optimem kolem pH 5. Po zakořenění jí neškodí ani delší přísušek, holomrazy ani pozdní jarní mrazíky jí také neškodí. Také zastínění nebo krátkodobé zaplavení snáší dobře.

Chrastici je možno pěstovat na semeno, píci nebo průmyslové využití. Výnosy semene se udávají 0,2 – 0,4 t/ha. Píce se doporučuje zesilážovat, jelikož má horší stravitelnost než ostatní pícní trávy. Průměrné výnosy sušiny se pohybují v rozmezí 4,5 – 9 t/ha. Při energetickém využití se fytomasa chrastice využívá pro přímé spalování nebo na

výrobu elektřiny, kdy lze její fytoomasu použít v zeleném stavu pro výrobu bioplynu (Stražil a kol., 2006).

#### **2.5.8. Ozdobnice čínská (*Miscanthus sinensis*)**

Ozdobnice je rostlina, o které se v současné době uvažuje jako o alternativním zdroji obnovitelné energie a surovině pro průmyslové využití. Dosud byla pěstována a využívána jen jako ozdobná rostlina. Ozdobnici lze obecně charakterizovat jako vytrvalou travu rostoucí do výšky 0,8 – 2 m. Dobře využívá sluneční energii, vodu, živiny a je značně odolná proti chorobám a škůdcům. Listy jsou 18 – 75 cm dlouhé a 0,3 – 2 cm široké. Květy červenavé, vyrůstají nad listy. Stává se invazivní druh v části Severní Ameriky. Bylo vyšlechtěno několik kultivarů – „*Stricta*“ s vertikálními listy, „*Variegata*“ s bílými okraji listů a „*Zebrina*“ se světlými příčnými pruhy.

Ozdobnici se nejlépe daří na lehčích strukturních půdách, spíše v teplejších oblastech s vyšším množstvím srážek. Nároky na půdu nejsou tak vyhraněné. Optimální pH půdy je v rozmezí 5,5 – 6, 5.

S ozdobnicí se ve většině projektů počítá hlavně pro energetické účely na výrobu tepla. Její výnosy v druhém roce po výsadbě dosahují 10 t/ha sušiny, ve třetím roce a dalších 15 – 25 t/ha, při intenzivním hospodaření i více než 30 t/ha sušiny. Ozdobnici lze dobře využít i ve stavebním průmyslu, jako materiál pro výrobu dřevovláknitých desek, dřevitých lepenek, rohoží nebo došků. S ozdobnicí se počítá jako s výborným zdrojem suroviny pro výrobu buničiny (Stražil a kol., 2006).

#### **2.5.9. Agrotechnika trav:**

Po mnohaleté snížené poptávce po travních semenech na přelomu 80 – 90. let se jejich pěstování opět postupně stává podnikatelsky nadějným úsekem zemědělské výroby. Zvyšující se dovoz a poptávka po zahraničních, speciálních odrůdách, zvláště pro nepícní využití, vedly do poloviny 90. let, spolu s nízkou rentabilitou pěstování, k značnému útlumu domácího množení. Osiva trav jsou mnohdy do ČR dodávána za nízké dumpingové ceny, stoupá však poptávka po travních a jetelotravních směsích pro nejrůznější škálu místních podmínek s ohledem na restrukturalizaci zemědělské výroby v ČR (Šroller a kol., 1997).

Na přípravu půdy a způsob setí jsou trávy velice náročné. Je to způsobeno především malou velikostí osiva i malým množstvím zásobních látek v endospermu obilky

(Šantrůček a kol., 2003). Porosty zakládáme jako čisté výsevy do řádků 200 – 300 mm většinou časně z jara. Výsevek v monokultuře činí zhruba 20 -40 kg/ha. Jako krycí plodina se doporučuje jarní pšenice se sníženým výsevným množstvím o 20 – 60 % sklizenou ve voskově-mléčné zralosti, případně pícní odrůdy ovsa využívané k senážování. Fosfor, draslík a 30 – 40 % celkové dávky dusíku ( $40 - 60 \text{ kg N.ha}^{-1}$ ) je nutno dodat na podzim, a to v roce výsevu ihned po sklizni krycí plodiny, jinak vždy koncem srpna nebo začátkem září. Časné jarní hnojení dusíkatými hnojivy koncem března ( $50 - 80 \text{ kg N.ha}^{-1}$ , u jílků 100 – 120 kg) podpoří vývin silných stébel a generativních odnoží. Důležité je ošetření porostů před zimou. Nejdéle do poloviny října je posekáme, vyhrabeme a veškerou hmotu odvezeme. Je to důležité fyto-sanitární opatření, bránící rozšíření chorob a škůdců, podpoří se vytváření plodných odnoží. Tato opatření uplatníme zejména při kombinovaném využívání na semeno a na energetickou biomasu (Pulkrábek, Capouchová 2011).

Počet sečí, při němž se dosáhne maximálního výnosu, závisí na stanovištních podmínkách (zejména na délce vegetačního období, vodním režimu a úrodnosti půdy), na druhovém složení porostu a na úrovni dusíkatého hnojení. Počet sečí, doba seče a fenofáze ovlivňují obsah jednotlivých živin. Na výrobu bioplynu se biomasa trav sklízí ve 2 – 3 sečích. První seč 15.5 – 15.6, druhá seč 15.8. – 15.9. ve fenofázi sloupkování. Kvalita píce je vysoká a odpovídá požadavkům na výkrm skotu. Obsah vlákniny a ligninu je nejnižší a s dalšími etapami vývoje se zvyšuje, ale s počtem sečí klesá. Biomasa má vysoký obsah dusíkatých látek, cukrů a popelovin. Pro využití na spalování je lepší pozdní seč od 30.7. do 30.8., kdy je v biomase vysoký obsah vlákniny a ligninu a klesá obsah NL a popelovin. Pro účely spalování se používá biomasa i s porostu po přemrznutí. Seč této biomasy se provádí v období od 10.10. do 10.11., a nebo se sklízí až po přezimování, kdy dojde k odplavení NL a popelovin, zvýší se max. obsah vlákniny a ligninu. Problémem při sklizni po přezimování může být polehání porostu v důsledku sněhové pokrývky (Kramoliš, 2004).

## 2.6. Jetelotravní směsi (JTS)

Z jetelovinotrav v současné době rozhodující plochu zaujímají směsky trav s jetelem lučním, které jsou v současné době pěstovány na 3 % orné půdy. Pěstování jetelovinotrav je převážně orientováno do vyšších, vlhčích podhorských a horských oblastí. **Vojtěškotravní směsi** i v podmínkách, kde se pěstuje vojtěška, poskytují dobré výnosy píce pouze v první seči 1. užitkového roku. Vlivem větší konkurenční schopnosti trav bývá vojtěška více potlačena a brzy převládnu trávy. **Štírovníkotravní směsi** jsou vhodnější pro extenzivní podmínky hospodaření, dávají nižší výnosy, a proto se uplatňují v extrémnějších podmínkách na pozemcích s mělkou půdou a na svažitéjších pozemcích.

**Jetelotravní směsky** se pěstují tam, kde u jetele lučního nedosahujeme plných výnosů v důsledku vymrzání, napadení rakovinou, na půdách vlhkých, těžkých a tedy na horších stanovištích. Z těchto důvodů mají jetelotravní směsky své opodstatnění, převážně ve vyšších oblastech, kde čisté porosty jetele lučního dávají nestabilní výnosy vlivem méně příznivých ekologických podmínek.

Podle doby využívání dělíme jetelotravní směsky na krátkodobé, které se pěstují na 2 roky vegetace. Zastoupení jetele lučního je zde nejvyšší, obvykle až 80 % čistého výsevu jetele. Krátkodobé jetelotravní směsi na bázi tetraploidních odrůd jetele lučního s rodovými hybridy trav, vzhledem k dobrým produkčním schopnostem a vysoké nutriční hodnotě, by měly ve vyšších oblastech zaujímat významné místo, a to nejen při konzervaci senážováním, ale i pro přímé krmení. Víceleté dlouhodobější i dočasné směsky pěstované na 3 – 4 užitkové roky mají menší podíl jetele (40 – 60 %) a umožňují rozložení doby sklizně a účelnou aplikaci animálních hnojiv – močůvky a kejdy.

Jetelotrávy podobně jako monokultury jetele lučního hnojíme do zásoby fosforečnými hnojivy. Dávky se řídí podle předpokládané doby využívání a podle zásoby živin v půdě. Na jeden užitkový rok dodáváme 35 – 40 kg P a 80 – 120 kg K.ha<sup>-1</sup>. V oblastech s kyselými půdami (vyšší podhorské oblasti) je třeba 2 – 3 roky před zakládáním jetelotráv půdu vyvápnit a upravit půdní reakci na pH = 6. Dusíkaté hnojení u jetelotráv se řídí procentickým zastoupením jetele. Podle podílu jetele v porostu, půdní úrodnosti aplikujeme 40 – 70 kg N.ha<sup>-1</sup>. Dávky dusíku je nutné dělit a to – první dávkou na počátku obrůstání a druhou po první seči. Jetelotrávy s vyšším zastoupením jetele začínáme sklízet na počátku květu jetele a jsou využívány 2 – 3 sečně. Při jednoletém využívání sklízíme zpravidla dvojsečně. Jsou-li pěstovány na více užitkových let ve

směsích a vyšších dávkách dusíkatých hnojiv dávají obvykle 3 seče. Doba sklizně se neřídí vývojovou fází trav, ale přihlížíme k tomu, aby nedocházelo k polehnutí a následnému podehnívání porostu. Opožděná seč by měla za následek zhoršení kvality píce a hůře by se silážovala v důsledku vyššího obsahu dusíkatých látek a nižšího obsahu glycidů v píci (Šroller a kol., 1997).

Pro výrobu bioplynu jsou vhodné rostliny s vyšším obsahem N a s nižším poměrem C: N. Jde především o sklizenou biomasu jetelotráv. Zelené rostliny se hodí pro výrobu bioplynu jak v čerstvém tak i silážovaném (senážovaném) stavu a proto je možno pro metanogenezi (konečný krok anaerobního rozkladu, v této finální fázi dochází ke tvorbě metanu CH<sub>4</sub>) použít výrazně širší spektrum rostlin, než pro výrobu tuhých paliv. Metanogenezi rostlin je vhodné kombinovat se zpracováním kejdy a organických odpadů (Pulkrábek, Capouchová 2011).

## **2.7. Monokultury jetelovin**

Víceleté pícniny na orné půdě představují jeteloviny, některé trávy, případně jejich směsky – jetelovino trávy. Jeteloviny jsou rozhodujícím zdrojem humusu v půdě a současně i hlavními dodavateli dusíku, který poutají díky symbióze s hlízkovými bakteriemi. Jeteloviny působí fyto sanitárně, protože negativně ovlivňují některé patogeny. Díky hluboko zasahujícím kořenům vynášejí na povrch i živiny, napomáhají oživit půdu, zlepšit její strukturu. Nejvýznamnější zástupci jsou jetel luční, vojtěška setá, komonice bílá, bob obecný.

### **2.7.1. Jetel luční (*Trifolium pratense* L.)**

Vedle monokultur má jetel luční rozhodující uplatnění v jetelotravních směskách. Pěstuje se především ve výrobní oblasti bramborářské a podhorské. Do třetího roku vegetace ponecháváme monokultury jetele jen výjimečně na základě posouzení hustoty porostu. Kulturní jetel má dva typy – jetel luční pozdní (jednosečný) a jetel luční raný (dvousečný). (Šantrůček a kol., 1995).

Jetel luční je vytrvalá bylina, jejíž charakter je trsnatý, bez výběžků. Kulovitý kořen zasahuje do hloubky 1,5 - 2 m. Lodyhy jsou přímé nebo obloukovitě vystoupavé, hranaté, jednoduché, někdy větvené. Celá rostlina je vysoká 20 – 50 cm. Listy, které tvoří přízemní růžici, jsou dlouze řapíkaté 10 – 20 cm. Listy jsou trojčetné, lodyžní krátce řapíkaté, horní

až přisedlé. Jednotlivé lístky jsou víceméně přisedlé, jejich maximální velikost je 15x30 mm. Mají obvejčitý tvar, jsou celokrajné, lehce vykrojené. Na lici je nápadná bílá skvrna. Květy se uspořádávají do hlávek, které vyrůstají na vrcholu lodyhy. Mají kulatý nebo vejčitý tvar, jsou na krátké stopce nebo přisedlé (Anonym č. 3, 2011). Jetel luční je dobrá píceňina bohatá na bílkoviny. Jetel luční sklízíme na píci vždy před květem, pro přímé zelené krmení již od fáze zakládání květních poupat. Píce je stravitelnější, s vyšším obsahem N-látek, menším obsahem vlákniny. Biomasa jetele lučního se používá k senážování, obtížnější je jeho sušení na seno. Zelené rostliny lze využít pro výrobu bioplynu v čerstvém i silážovaném stavu. Výnosy píce běžně překračují výnosovou hranici 10 t sena.ha<sup>-1</sup>. Výnosy semene kolísají od 80 do 500 kg.ha<sup>-1</sup> a současně se sklízí 1,5 – 2,5 t.ha<sup>-1</sup> jetelové slámy. HTS 0,6 – 0,8 g (Šroller a kol., 1997).

### **2.7.2. Vojtěška setá (*Medicago sativa* L.)**

Ve výrobním typu kukuřičném a řepařském je pro produkci kvalitní píce vedle kukuřice rozhodující pícinou. V ČR je poměrně mladou pícinou, nejrychleji začaly její osevní plochy stoupat teprve počátkem 20. století. Její výměra v roce 1990 činila 147 000 ha. V roce 2008 její výměra činila 67 000 ha. Ke klimatickým podmínkám při pěstování na píci je vojtěška značně přizpůsobivá, rozhodujícím ekologickým faktorem jsou půdní podmínky. Hladina spodní vody má být nejméně 1,5 m pod povrchem, jinak kořeny zahnívají. Reakce půdy nejlépe vyhovuje v rozmezí pH 6,5 – 7,2. Nejlépe ji vyhovují půdy jílovitohlinité, hlinité až písčitohlinité. Je známo, že o využití biologického výnosového potenciálu vojtěšky rozhodují hlavní měrou vhodné půdní podmínky, tzv. „stará půdní síla“, obsah přijatelných živin nejen v ornici, ale i ve spodině a pH.

Vojtěška setá je vytrvalá 30 – 100 cm vysoká bylina. Má silný hlavní křlový kořen, který se větví a proniká hluboko do hloubky 1,5 – 5 m. Má modrofialové květy, plodem jsou nepukavé lusky. Lodyha je vzpřímená, tuhá, větvená. Kultura je velmi vytrvalá, může růst až 10 let. Ročně poskytuje 3 – 4 seče. Výnosy 6 -14 t.ha<sup>-1</sup> zelené hmoty a 1,5 – 3 t.ha<sup>-1</sup> sena. HTS 1,8 – 2,5 g. Píce vojtěšky je vhodná pro energetické účely a to hlavně k výrobě bioplynu, bioetanolu (Šantrůček a kol., 2001).



### **2.7.3. Komonice bílá (*Melilotus albus* Des.)**

Tato dvouletá nebo jednoletá přezimující jetelovina se používá převážně na zelené hnojení rekultivovaných pozemků nebo jako náhradní pícnina na výsušných chudých písčitých až kamenitých půdách. Krmná hmota je průměrná a zvířata komonici hůře přijímají pro hořkou chuť a pach v ní obsaženého kumarinu. (toxin obsažený v rostlinách, působí spasmolyticky, sedativně, snižuje srážlivost krve, působí toxicky na játra). V zahraničí jsou vyšlechtěny odrůdy s nízkým obsahem kumarinu (Šantrůček a kol., 2001).

Komonice je považována za pionýrskou rostlinu. Ze zemědělského hlediska má komonice bílá a žlutě kvetoucí komonice lékařská význam pro nejchudší půdy. Komonice bílá je velmi vzrůstná bylina, dosahuje výšky 1,5 – 1,8 m a kořeny mohou v půdě dorůstat až do hloubky 2 m. Komonice jako rostlina s vysokou schopností vázat dusík je také vhodná pro zelené hnojení. Má vysoký obsah nektaru, proto je ideální pastvou pro včely. Lodyha je vzpřímená a větvená. Listy trojčetné, řapíkaté. Bílé květy uspořádány do 4 – 6 cm dlouhých jednostranných, úžlabních hroznů. Nároky na půdu jsou velmi malé. Žádná jiná krmná plodina neposkytuje tak vysoké výnosy zelené hmoty ze suché písčité půdy. Výnosy zelené hmoty kolísají podle stanovištních podmínek od 15 do 30 t/ha zelené píce a od 4 do 8 t/ha sena. HTS je 1,8 – 2,7 g. Nabízejí se možnosti jejího využití na produkci biomasy s energetickým využitím. Jako koferment (přídavek) v zařízení na produkci bioplynu zvyšuje komonice obsah sušiny v kejdě a tím i výtěžnost bioplynu. Další možný směr uplatnění by mohl spočívat ve využití komonice jako paliva (Koubová, 2008).

### **2.7.4. Agrotechnika jetelovin:**

Jetel a vojtěšku zařazujeme na počátek osevního sledu. Jejich pěstování po sobě není možné. Jetel vyžaduje odstup 5 – 6 let, stejně jako vojtěška. Ostatní meziplodiny zařazujeme dle možností a potřeby. Jeteloviny zakládáme výhradně formou podsevu do krycí plodiny. Při zpracování půdy vycházíme proto z požadavků krycí plodiny. Nejčastěji se volí minimalizační způsoby zpracování půdy, které umožní rychle založit nový porost a přitom šetří půdní vláhou. Jetel a vojtěška vyžadují půdy ve staré půdní síle s dostatečným množstvím mikroprvků. Jetele jsou téměř vždy vysévány ve směsích s travami, protože se dobře doplňují. Hustý a jemný kořenový systém trav přispívá významně ve spojení s poutáním dusíku kořeny leguminóz (jetelovin) k vytváření úrodné půdy. Směsky snižují nebezpečí jetelové únavy půdy, jsou bezproblémové při krmení. Mají příznivější krmnou

hodnotu. Jetel a tráva mají velmi drobná semena s nízkou hmotností (HTS). Proto je vhodné mělké setí do 1 cm. Předpokladem dobrého vzejití je mělké, jemné předseťové zpracování půdy, umožňující přístup vláhy. To zlepšíme i válením po setí. Ošetřování porostů jetelovin spočívá v počátečních fázích vývinu v udržení bezplevelného porostu a šetrné sklizni krycí plodiny s ohledem na podsev. Mechanické ošetření u mladého porostu v prvním roce neprovádíme. Po sklizni je potřebná pečlivá konzervace a uložení pícnin. Přitom mohou být využity praktické konvenční zkušenosti ze sušení sena, silážování a senážování. Perspektivou pro využívání jetelovin jsou biorafinérie s energetickým využitím vlákniny (celulózy, ligninu) po separaci bílkovin, chlorofylu, minerálních aj. látek (Šantrůček a kol., 2001).

## 2.8. Byliny

Energetické byliny jsou rostliny s nedřevnatým stonkem cíleně pěstované pro produkci energie. Plošný energetický zisk pěstování těchto bylin není příliš vysoký. Při sklizni kolem 10 t/ha a výhřevnosti kolem 15 – 20 MJ/kg sušiny je energetický výnos 150 – 200 TJ/ha. Zástupcem této skupiny je **sléz přeslenitý** (*Malva verticillata* L.), **sléz maurský** (*Malva mauritiana*) a **sléz velkokvětý** (*Malva alcea*), **křídlatka japonská** (*Reynoutria japonica*), **šťovík** (*Rumex*), **rdesno** (*Polygonum*) (Moudrý, 2011).

Krmný sléz je jednoletá jarní plodina s rychlým vývinem, je možné ho pěstovat i jako letní meziplodinu. Zakládání porostů na jaře provádíme 10. – 20. dubna do řádků o šířce 12,5 cm. Osivo vyséváme do hloubky 1 – 2 cm a výsevek činí 10 – 12 kg osiva na 1 ha. Letní výsevy můžeme provádět do 20. července. Při jarním výsevu poskytuje sléz 1 – 2 seče, při letním pak pouze 1 seč. Výnosy píce činí při jarním výsevu 25 – 35 t/ha biomasy.

Sléz je vysoce vzrůstný a výnosný, dosahuje výšky 1,5 – 2 m. Pokud zůstane na dozrání, lze zaschlé lodyhy sklízet včetně dozrálého semene pro energetické účely. Při sklizni se část semene vysemení a na jaře se pak vytvoří zpravidla opět plně zapojený porost. Při pěstování slézu tímto „samovýsevem“, jej lze zařadit mezi plodiny víceleté. Pro fytoenergii je sléz perspektivní rostlinou, neboť dosahuje při dobré výživě 10 – 15 t suché hmoty z 1 ha (Petříková, 1999).

Význam pěstování slézu krmného spočívá též v jeho velmi rychlém jarním vzcházení a obrůstání. To je důležité zejména na plochách trpících erozí, kde je třeba půdu

fixovat na strništi. Sléz lze tudíž využívat i jako protierozní opatření. Slézu vyhovují půdy středně těžké, hlinité až hlinitopísčité, bohaté na živiny a spodní vláhu. Pro pěstování se doporučují slunné polohy, chráněné před větrem. Jako předplodiny jsou nejvhodnější luskoviny, zelenina nebo okopaniny. Na podzim se provádí hluboká orba a na jaře se přihnojuje P a K. Hnojení dusíkem se provádí v dávce 60 – 80 kg N na 1 ha. Přehnojené porosty mohou v píce obsahovat nadbytek nitrátů (Vaňatová, 2008).

Sléz se pěstuje jako jednoletá rostlina a to dvojným způsobem: buď přímým jarním výsevem, nebo z předpěstovaných sazenic. Nejvýhodnější doba pro výsev slézu je březen nebo duben. Vysévat můžeme buď do hnízd, nebo do řádků. Jedna z výhod výsevu do hnízd je malá spotřeba osiva (1,5 kg/ha). Dále nám tím odpadá pozdější jednocení v řádcích. Do jednotlivých hnízd (v řádcích) dáváme 3 – 5 semen max. 2 cm hluboko, při setí do řádků též 2 cm hluboko. Většinou rostliny vzchází během 3 týdnů. V případě, že vyséváme do řádků, počítáme s vyšší spotřebou osiva asi 10 – 12 kg na 1 ha. Vzdálenost řádků, do kterých vyséváme sléz, je 60 cm. Jakmile rostlině narostou 4 pravé listy (většinou v dubnu), musíme porost vyjednotit na vzdálenost 50 – 60 cm. Pro odstranění tvrdoslupečnosti semen slézu je možné před setím použít zahřívání osiva na teplotu 60°C po dobu 2 hodin. Píce slézu je kvalitní, s vyšším obsahem N-látek a vyšší stravitelností (listy). Píce je šťavnatá, obsahuje pouze 14 – 19 % sušiny. Ve květech jsou obsaženy antokyanová barviva, v listech třísloviny, organické kyseliny a další látky. Kvalita závisí na olistění a fenofázi při sklizni. Při dvousečném využívání sklízíme sléz ve fázi květních pupat. Píce sklízíme žacími mačkači a necháme zavadat 1 – 2 dny na sušinu 40 – 45 %. Biomasa se obtížně silážuje, při silážování musíme přidávat silážní aditiva, případně v kombinaci s enzymy. Krmný sléz má velmi dobrou krmnou hodnotu, podobnou vojtěšce seté. Je možné ho využít na přímé zkrmování, senážování nebo výrobu úsušků. Sklizeň na píce provádíme do 90 dnů od výsevu ve fázi tvorby pupat až počátku kvetení. Tuto rostlinu lze pěstovat jak v nížinném tak horském pásmu. Sléz usychá v září. Právě to je ta nejlepší doba pro sklizeň na energetické účely. Sklízí se při plném dozrání, aby byla fytomasa využívána pro energetické účely dostatečně suchá. Lze ho využít jak pro spalování, tak na výrobu bioplynu (Moudrý, 2011).

## 2.9. Trvalé travní porosty (TTP) a jejich produkční a mimoprodukční význam

Trvalé travní porosty (TTP) historicky představovaly jediný zdroj píce, avšak v průběhu rozvoje zemědělské výroby se jejich plochy snižovaly ve prospěch orné půdy. V roce 1995 zaujímaly TTP v České republice 888.000 ha zemědělské půdy, což je v porovnání s rokem 1950 (1.026 tis. ha = 100 %) pouze 86,5 %. Až do roku 2009 se zvýšila výměra TTP téměř o 100 tis. ha. Výnosová variabilita je vzhledem k ekologickým podmínkám velmi široká 1 – 15 t.ha<sup>-1</sup>. Výnosy sušiny píce z luk se v posledních 20 letech pohybují kolem 3 – 4,5 t.ha<sup>-1</sup> a píce pastvin asi 1,5 t.ha<sup>-1</sup>, což je u spásaných porostů nepřesné převážně v důsledku odhadů (Šroller a kol., 1997).

Z geografického hlediska jsou travní porosty zastoupeny ve všech vegetačních pásmech, od tropických oblastí až po oblasti arktické. Z hlediska výškové zonality se travní porosty uplatňují od nejnižších nadmořských výšek až do vysokohorských poloh, kde přesahují hranici lesa. Území našeho státu je z geobotanického hlediska v lesním pásmu, a proto přírodní travní porosty zde nejsou primární rostlinnou formací s výjimkou holin a fragmentů stepních porostů. Sekundárně vzniklé přírodní travní porosty by bez působení člověka postupně přešly v lesní formaci. Velmi pestré ekologické podmínky přirozených travních porostů umožňují rozšíření velkého počtu druhů ze skupin trav, jetelovin a ostatních bylin. V TTP za příznivých podmínek dominují trávy. Druhové složení lučních a pastevních porostů má velký význam nejen pro zajištění jejich produkčních možností a ocenění kvalitativních stránek vyprodukované píce, ale i pro způsob a intenzitu obhospodařování, tzn. pro volbu správných pratotechnických opatření, které je zkulturuje nebo umožňují udržet jejich produkční schopnost. Floristické složení TTP je tedy výslednicí působení interakce všech ekologických faktorů komplexního vlivu celého ekosystému a podmínek obhospodařování, v němž by měla převládat entropická složka. Podle vzniku se rozdělují TTP na původní, přírodní a seté (Šantrůček a kol., 2001).

a) **původní travní porosty** jsou trvalá společenstva, která se vyvinula na stanovištích, jejichž podmínky vylučují existenci lesa. Jsou to stanoviště nad hranicí lesa s dlouhou sněhovou pokrývkou, s velmi drsnými klimatickými podmínkami. Dále jsou to lokality na příkrých svazích, na rašelinách, v povodí toků s pravidelnými záplavami. Jejich floristické složení je rovněž v relativní rovnováze s komplexem stanovištních podmínek. Jejich existence však není podmíněna využíváním, činností člověka. Jsou botanickou zvláštností a jejich zemědělský význam je omezený (Šantrůček a kol., 2001).

b) **přírodní (přirozené) travní porosty** jsou trvalá společenstva (fytocenózy) vzniklá samozatravněním po určitém zásahu člověka do lesního společenstva, které se udržují pravidelným využíváním (sečením, pastvou nebo kombinovaně), znemožňujícím samovolnému zalesnění. Jejich druhové složení je výrazně ovlivněno činností člověka. Podle intenzity obhospodářování, tj. 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 a kol., 2001).

c) **seté (uměle založené) travní porosty** vznikají vysetím směsí kulturních trav a jetelovin za účelem dočasného až trvalého využívání. Tyto umělé fytoocenózy jsou ve svém druhovém složení výrazně ovlivněny složením vyseté směsi (Šantrůček a kol., 2001).

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

a) **absolutní louky** jsou využívány pouze sečně, pastva je zde znemožněna nedostatečnou únosností drnu, zejména v první polovině vegetačního období a na podzim. Toto je ovlivněno vlhkostním režimem, mělkostí a šterkovitostí půdy, erozním ohrožením apod.

b) **absolutní pastviny** jsou neoratelné plochy, kde svažitost a nerovnost povrchu znemožňují sečení.

c) **pastevní louky** umožňují kombinovanou exploataci (sečí i pastvou). Mohou být absolutní (neoratelné) anebo obnovitelné (oratelné).

d) **speciální travní porosty** jsou určeny k nezemědělskému využívání (okrasné, hřišťové, protierozní aj.) (Šantrůček a kol., 2001).

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. Ve srovnání s ornou půdou je odlišnost ve způsobu hnojení, hnojení je možné pouze povrchově. Termín pratotechnika zahrnuje soustavu pěstitelských opatření TTP (Šantrůček a kol., 2001).

### 2.9.1. Agrotechnika TTP:

Základní povrchovou úpravou čili rekultivačními zásahy (účelná likvidace nevhodných dřevin, urovnání terénu aj.) se musí zajistit vhodné obhospodařování a stabilita zemědělského ekosystému. Kulturní travní porosty vyžadují většinou strukturní, utužený povrch půdy a méně hodnotné rostliny a plevely naopak kyprý. K zajištění tohoto ekologického požadavku by měly směřovat všechny běžné mechanické zásahy. Jedná se hlavně o následující. Smykování je nejdůležitějším mechanickým zásahem. Tím srovnáme povrch a v záplavových územích rozrušujeme nanesené kaly, krtince aj. Používáme nejlépe lučně-pastevní smyky 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. Drn prokypřený vlácením zvyšuje vitalitu a konkurenční schopnost především plevelných a méně hodnotných druhů (Šroller a kol., 1997).

Vzhledem k tomu, že závlahy travních porostů se u nás již běžně neprovádějí, zůstává základním intenzifikačním prostředkem hnojení, zejména dusíkaté. Hnojení dusíkem vede ke změně botanické skladby porostu – podpoře výskytu trav a některých širokolistých bylin na úkor leguminóz. N hnojením se zvětšuje hmotnost výhonků, zvětšuje se pokryvnost listové plochy a mění se kvalita píce. Zemědělské podniky v současné době využívají pouze omezené dávky minerálních hnojiv na travní porosty, nicméně je zde velký potenciál racionálního systému používání statkových hnojiv. Při bilancování hnojení je třeba vycházet z plánovaných výnosů píce a ze zásoby živin v půdě. Použití travní biomasy z TTP k výrobě bioplynu má určitá specifika vycházející hlavně z chemického složení biomasy. Chemické složení i jednoho druhu rostlinné biomasy je ovlivněno charakterem půdy a klimatickými podmínkami stanoviště. Navíc může být ovlivněno řadou faktorů spojených s produkcí, sběrem a případnou konzervací jako jsou například způsob hnojení, doba sklizně, počet sečí, technologie konzervace. Z hlediska produkce bioplynu z jednotky organické hmoty jsou jednoznačně nejvýhodnější substráty s vysokým obsahem lipidů poskytující až 1 250 Nm<sup>3</sup> bioplynu z tuny organické hmoty (Havlíčková a kol., 2008). Možné je také přímé splování suché travní biomasy s vyšší sušinou a zakládání a pěstování speciálních rostlinných kultur ve vhodných podmínkách k bioenergetickému využití (Šroller a kol., 1997).

### 2.9.2. Produkční a mimoprodukční funkce TTP:

– vývoj ploch travních porostů v poslední době vykazuje vzrůstající tendenci. Travní porosty zaujímají cca 950 tis. ha (stav k 1. 1. 1999 dle Statistické ročenky ČR), z toho louky 663 tis. ha a pastviny 284 tis. ha. Toto činí přibližně 22,10 % výměry ze zemědělské půdy. Přestože se travní porosty v současné době vyznačují nižší produkční funkcí, sehrávají v zemědělské soustavě pozitivní úlohu. Prostřednictvím polygastrických zvířat je organická hmota ze zkrmené píče transformována, z části se v procesu trávení rozkládá. Zbývající 35 – 50 % přijaté organické hmoty je vylučováno výkaly. Organická hmota ve formě statkových hnojiv se uplatňuje především na orné půdě a je významným faktorem její úrodnosti (Šroller a kol., 1997).

Travní porosty mají vedle zemědělského významu i velmi důležité a nenahraditelné mimoprodukční (nevýrobní) funkce, které neustále nabývají na významu v souvislosti s nevhodnými hydrologickými poměry, s narušenými biologickými cykly v krajině apod. Soubor těchto funkcí je dán již jejich vznikem v historických dobách (Šnobl, Pulkrábek a kol., 2005). Vodohospodářská funkce travních porostů spočívá především v zadržování srážkové vody. Tím je zaručena převážně stálá zásoba podzemní vody, což má zvláštní význam v našich podmínkách, kde jsou vodní zdroje omezené a z našeho území vody odtékají. Travní porosty vynikají nad ostatními zemědělskými kulturami v ochraně půdy před vodní a větrnou erozí. Protierozní funkce travních porostů je zajištěna celoročním pokryvem půdy, který zpomaluje odtok srážkové vody a zvyšuje její vsakování. Tak je zajištěna ochrana půdy v záplavových oblastech vodních toků a částečně tak omezení jejich zanášení a eutrofizace. Podobně plní tuto funkci travní porosty na svazích. Ochranná funkce ve vztahu k hydrosféře je umožněna schopností kořenového systému vytvářet dokonalý „biologický filtr“, který omezuje znečištění podzemních vod různými chemickými látkami, hnojivy, především nitráty a chrání je i před mechanickým znečištěním smyvem minerálních a organických složek půdy. Výměna plynů nad travními porosty pozitivně ovlivňuje kvalitu ovzduší. V průběhu fotosyntetického procesu odebírá porost z ovzduší oxid uhličitý, který fixuje v produkované biomase za současné tvorby kyslíku. Omezuje tím nepříznivé působení „skleníkového efektu“ a proces globálního oteplování. Estetická funkce travních porostů se uplatňuje v širokém měřítku (vzhled krajiny aj.). V horských a podhorských oblastech zajišťují travní porosty v makroreliefu estetický vzhled krajiny porosty holin, v nížinných polohách pak přirozené louky v nivách vodních toků. Obdobně plní estetickou funkci různé trávníky (krajinné aj.). Travní porosty

jsou nezastupitelným biotopem ptactva a zvěře, pro které představují nezastupitelnou potravní nabídku a také povrch půdy je osídlen rozmanitým množstvím živočišných druhů (Šantrůček a kol., 2001).

## **2.10. Způsoby využití biomasy k energetickým účelům**

Způsoby využití biomasy k energetickým účelům je do značné míry předurčen fyzikálními a chemickými vlastnostmi biomasy. Velmi důležitým parametrem je vlhkost, resp. obsah sušiny v biomase. Hodnota 50% sušiny je přibližná hranice mezi mokřými procesy (obsah sušiny je menší než 50 %) a suchými procesy (obsah sušiny je větší než 50 %). Z principálního hlediska lze rozlišit několik způsobů získávání energie z biomasy a přípravy biomasy pro energetické využití:

**a) termochemická přeměna biomasy** (suché procesy pro energetické využití biomasy):

- spalování biomasy – je chemický proces rychlé oxidace, kterým se uvolňuje chemická energie vázaná ve spalovaném palivu na energii tepelnou
- zplynování biomasy – je proces, který přeměňuje organické materiály na hořlavé plyny
- pyrolýza biomasy – je termický rozklad organických materiálů za nepřístupu médií obsahující kyslík. Podstatou pyrolýzy je ohřev materiálu nad mez termické stability přítomných organických sloučenin, což vede k jejich štěpení až na stálé nízkomolekulární produkty a tuhý zbytek.

**b) biochemická přeměna biomasy** (mokrý procesy pro energetické využití biomasy):

- alkoholové kvašení – je biochemický proces, při kterém jsou rostlinné polysacharidy přeměňovány na alkohol za přítomnosti kvasinek. Kvasinky vlastní enzymy, kterými přeměňují rostlinné sacharidy na ethanol a oxid uhličitý za vzniku tepla a energie.
- metanové kvašení – je uměle vyvolaný anaerobní rozklad organického materiálu (výroba bioplynu)

**c) fyzikální a chemická přeměna biomasy:**

- mechanicky (štípání, drcení, lisování, briketování, peletování, mletí apod.)
- chemicky (esterifikace surových bioolejů)

**d)** získávání odpadního tepla při zpracování biomasy (např. při kompostování, aerobním čištění odpadních vod, anaerobní fermentaci pevných organických odpadů apod.). Přestože existuje více způsobů využití biomasy k energetickým účelům, v praxi převládá ze suchých procesů spalování biomasy z mokřých procesů výroba bioplynu anaerobní fermentací.



Z ostatních způsobů dominuje výroba metylesteru kyselin bioolejů, získávaných v surovém stavu ze semen olejnatých rostlin (Anonym č. 4, 2011).

### **2.10.1. Přímé spalování**

Přímé spalování je všeobecně známé, kamna či krb a palivové dřevo zná každý. Méně se však ví o odlišných nárocích na topeniště při spalování dřeva oproti například hnědému uhlí. Obě paliva mají odlišný charakter hoření a vyžadují odlišnou konstrukci topeniště. Ten kdo spaluje palivové dřevo v klasických kamnech či kotli na hnědé uhlí, zbytečně plýtvá svojí energií (na přikládání) i palivem. Kamna (kotel) na hnědé uhlí spálí dřevo velmi dobře, ale nedokážou využít veškerou energii tohoto paliva. Nezanedbatelná část energie tak doslova vyletí komínem nevyužita. Proto se na spalování biomasy využívají odlišná topeniště oproti klasickým.

Spalování je nejstarší známou termochemickou přeměnou biomasy. Při vysokých teplotách nad 660°C dochází k rozkladu organického materiálu na hořlavé plyny, destilační produkty, uhlí a dále oxidací na oxid uhličitý a vodu. Spalování biomasy slouží k výrobě tepla, páry (ohřev vody) nebo elektrické energie. Na rozdíl od fosilních paliv, které po vytěžení nevyžadují velkých úprav, aby je bylo možno spalovat, je třeba paliva z biomasy většinou upravit (krácení, štípání, sekání, lisování, mletí sušení apod.). Množství uvolněné energie závisí také na výhřevnosti spalované látky. Spalování biomasy má své kladné i záporné stránky. Při spalování biomasy nevzniká více CO<sub>2</sub> než bylo předtím rostlinami přijato. Biomasa neobsahuje téměř síru (ve slámě je asi 0,1 %, ve dřevě téměř není, nejvíce je v seně do 0,5 %, hnědé uhlí má min. 2 %). Tvorbu NOX (emise) je možno kontrolovat udržováním optimální teploty plamene. Obsah těžkých kovů v biomase je velmi nízký a se spalinami se do ovzduší nedostane. Něco může zůstat v popeli, kterého je oproti uhlí velmi málo (obsah popelovin slámy 5 %, dřeva 0,5 %). Z negativních jevů je to nebezpečí úletu jemného popílku (jsou používány odlučovače a filtry). Při spalování vlhké biomasy existuje nebezpečí vzniku kouře (aromatické uhlovodíky). Proto musí být palivo suché, nebo musí mít čas, aby proschlo, než přijde k místu zapálení. Ke spalování se v největší míře používají dřevo, sláma, odpadové dřevo nebo různé posklizňové zbytky, které se spalují buď samostatně, nebo se mísí s uhlím. Samotné dřevo se spaluje ve formě polen, štěpků, pilin, briket nebo pelet. Slámu lze spalovat volně loženou, ve formě různých typů balíků, briket pelet (Beranovský, Kašparová a kol., 2007).

### **Spalování biomasy lze rozdělit na:**

■ **klasické spalování suché biomasy** – biomasa je velmi složité palivo, protože podíl částí zplyňovaných při spalování je velmi vysoký. Vzniklé plyny mají různé spalovací teploty. Proto se také stává, že ve skutečnosti hoří jenom část paliva, zejména při pálení dřeva v kotlích na uhlí.

■ **spalování při vývinu dřevoplynu** – ze suché biomasy se působením vysokých teplot uvolňují hořlavé plynné složky, tzv. dřevoplyn. Jestliže je přítomen vzduch, dojde k hoření, tj. jde o prosté spalování. Pokud jde o zahřívání bez přístupu vzduchu, odvádí se vzniklý dřevoplyn do spalovacího prostoru, kde se spaluje obdobně jako jiná plynná paliva. Část vzniklého tepla je použita na zplyňování další biomasy. Výhodou je snadná regulace výkonu, nižší emise a vyšší účinnost. **Zařízení na spalování biomasy** – krby, kamna, automatické kotle na dřevěné peletky, kotle na štěpku, kotle na obilí, kamna na peletky či obilí.

Tyto komodity představují obrovské množství energie, které je velmi málo využíváno. V ČR je předpokládána roční těžba palivového dřeva 678 000 m<sup>3</sup>. Další zdroje z prořezávek, těžby, odpadů z dřevozpracujícího průmyslu, odpadů na odvozových místech, manipulačních skladech apod. se odhadují na dalších 700 000 m<sup>3</sup>, což představuje roční energetický ekvivalent 12 600 TJ (Beranovský, Kašparová a kol., 2007).

### **2.10.2. Výroba bioplynu**

Biochemická přeměna biomasy (mokrý procesy) – sem patří výroba bioplynu, což je uměle vyvolaný anaerobní rozklad organického materiálu. Zemědělství vytváří velké množství organických odpadů, které anaerobní fermentace umožňuje nejen likvidovat ale také energeticky využívat. Pro výrobu bioplynu se dají využívat také městské odpady a komunální odpadní vody. Ze zemědělských odpadů se nejvíce využívají kejda, sláma, zbytky travin apod.

K anaerobnímu rozkladu se používají dvě skupiny bakterií – kyselinotvorné a metanotvorné. Metanové bakterie vyžadují ke své činnosti specifické prostředí, které je dáno hodnotou pH, teplotou, obsahem živin, dobou zdržení, koncentrací pevných látek, mícháním apod. Pro výrobu bioplynu se používají jednoduché nebo složité systémy. Složité systémy se sestávají prakticky ze stejných částí jako jednoduché. Mají však při

provozu vyšší energetickou náročnost a jsou tedy méně hospodárné než jednoduchá zařízení. Základními stavebními prvky jsou čerpací jímka, vyhnívací nádrž (fermentor), zásobník plynu, kotelna a příslušné řídicí a monitorovací přístroje. V počáteční fázi se nahromaděné odpady předzpracovávají (míchání a rozmělnování). Následuje plnění vyhnívacích nádrží. Zde probíhá zahřívání, míchání a nakonec vyprázdnování. Plyn se odvádí a skladuje v plynojemech, vyhnílý kal se skladuje a využívá k různým účelům. Vyhnílý kal obsahuje po fermentaci nerozložené složky výchozí biomasy a mikroorganismy. Obsahuje dusíkaté látky, je tedy využitelný jako hnojivo a po usušení i jako krmivo. Fermentory jsou stavěny z různých materiálů, jako je ocel, beton a plasty a to podle konkrétních specifických podmínek. Existuje několik systémů výroby bioplynu. Dnes je standardním průtokový (kontinuální) systém. K dalším základním typům patří zásobníkový (diskontinuální) systém a systém střídavých zásobníků. Bioplyn obsahuje 55 – 80 % metanu, 20 – 45 % oxidu uhličitého, síru ve formě sirovodíku, dusík, vodu aj.

Bioplyn je nízko výhřevný plyn, jehož energetická hodnota je 20 000 – 25 000  $\text{kJ}\cdot\text{m}^{-3}$  (při 60 % metanu). Jeho kvalitu lze zvýšit čištěním. Obtížný je obsah sirovodíku v bioplynu. Tento plyn je toxický a má korozivní účinky. Proto se obvykle provádí odsířování bioplynu. Nejjednodušším řešením je aplikace 3 – 5 % vzduchu do bioplynu v nádrži, jehož působením dojde k rozložení sirovodíku na vodu a elementární síru. Po zapravení fermentovaného materiálu na pole je síra zpětně využita rostlinami. V celosvětovém měřítku je využití bioplynu poměrně nízké. V ČR nemá v současné době produkce bioplynu z organických odpadních látek větší praktický význam. Bioplyn má mnohostranné využití. V plynových motorech na pohon tlakových ventilátorů, čerpadel, generátorů. Po malých úpravách v plynových spotřebičích. V plynových motorech se dá měnit na elektrický proud. Z 1  $\text{m}^3$  se vyrobí 1,6 – 1,9 kWh. V poslední době se konají pokusy s využitím bioplynu na pohon traktorů a automobilů (Pulkrábek, Capouchová, 2011).

Bioplyn může pomoci spotřebám a průmyslu významně snížit uhlíkovou stopu a náklady na energii. Evropská bioplynová elektrická produkce v roce 2006 byla 17,272 GWh ročně. Nyní se bere v úvahu roční výroba elektřiny z bioplynu ve výši 1,2% A 10% energie z obnovitelných zdrojů (Schaller, 2008).

### 2.10.3. Ostatní způsoby využití biomasy – digesce

Anaerobní metanová fermentace organických materiálů – metanizace – je souborem procesů, při nichž směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá biologicky rozložitelnou organickou hmotu bez přístupu vzduchu za vzniku bioplynu a digestátu (tuhý zbytek z anaerobní digesce). Produktem digesce je digestát, který splňuje kvalitativní požadavky vyhlášky o biologických metodách zpracování biologicky rozložitelných odpadů. Termín anaerobní digesce má několik synonym, které se zcela nebo z části překrývají – anaerobní fermentace, anaerobní stabilizace a anaerobní vyhnívání. Pro popis anaerobní digesce byly vytvořeny postupem času tři modely. Nejstarší model předpokládal **dvoufázový proces**, který zahrnoval acidogenní fázi (proces enzymatické přeměny organických sloučenin na organické kyseliny), během které jsou produkovány mastné kyseliny a metanogenní fázi, v jejímž průběhu metanogeni (organismus s domény archea, který produkuje metan  $\text{CH}_4$ , a je schopný metanogeneze) přeměňují tyto kyseliny na  $\text{CO}_2$  a  $\text{CH}_4$ , ale mohou také k produkci metanu využít  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2$ .

**Třífázový model**, začíná fermentační fází, ve které jsou komplexní organické materiály (uhlovodíky, proteiny, lipidy aj.) konvertovány na mastné kyseliny, alkoholy,  $\text{CO}_2$  a čpavek. Ve druhé fázi vodík produkující acetogenní bakterie štěpí tyto produkty na  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , acetát (kyselina octová) a nižší mastné kyseliny. Ve třetí fázi využívají metanogeni  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$  a acetát pro produkci metanu a mikrobiální biomasy. Tento model byl popsán Mackeinem a Bryantem (1981). Dnes je uznáván nejnovější **čtyřfázový model**. Tento model zahrnuje čtyři hlavní skupiny mikroorganismů:

**1. hydrolytické bakterie** – tyto rozkládají organické polymery (látka sestávající z molekul jednoho nebo více druhů atomů) na kyselinu octovou,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , jiné jednoduhlíkaté látky, organické kyseliny vyšší než kyselina octová a alkoholy vyšší než metanol.

**2. acetogenní bakterie** – (obligátní a fakultativní anaeroby) produkující vodík, jenž mohou fermentovat organické kyseliny vyšší než kyselina octová a alkoholy vyšší než metanol na  $\text{H}_2$  a  $\text{CO}_2$ .

**3. homoacetogenní bakterie** – které mohou přeměňovat široké spektrum jedno a více uhlíkatých látek na kyselinu octovou.

**4. metanogeni** – které mohou z acetátu,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$  a některých dalších jednoduhlíkatých organických látek vytvářet metan.

Klíčovým momentem produkce metanu je přenos vodíku mezi acetogenními a metanogenními bakteriemi. Za nejdůležitější meziproduct anaerobní digesce jsou

považovány mastné kyseliny, zejména kyselina propionová. Při interpretaci vícefázových modelů anaerobní konverze organických substrátů do reálných technologií je nutné si uvědomit, že acidogenní a metanogenní bakterie mají nejen rozdílné nutriční požadavky, ale i rozdílnou kinetiku růstu, odlišné požadavky na optimální pH teplotu a odlišnou úroveň redox potenciálu prostředí. Metanogenní mikroorganismy ve srovnání s acidogenními vyžadují striktně anaerobní prostředí, jejich růst a množení je pomalejší a požadované optimum pH 7 – 7,5 je vyšší než pro acidogeny (pH 6 – 6,5). Rovněž odolnost vůči různým stresovým faktorům je u těchto skupin mikroorganismů odlišná. Proto byly vyvinuty technologie s dvoustupňovou anaerobní digescí umožňující lepší regulaci, rychlejší nastartování procesu, větší efektivitu a stabilitu fermentace. K oddělení fází je použitelná metoda kinetické separace s využitím rozdílné rychlosti růstu acidogenů a metanogenů. Použitelná je rovněž membránová separace, pomocí níž se nízkomolekulární meziprodukty z acidogenní fáze oddělují do fáze metanogenní. Vícestupňová technologie anaerobní fermentace vyžaduje vyšší investiční náklady a je náročnější na regulaci, ale zabezpečuje mnohem stabilnější proces. Na přetížení bioreaktoru je možno reagovat již v acidogenní fázi, takže nemusí dojít k poklesu produkce bioplynu. Navíc jsou toxické produkty z acidogenní fáze kontinuálně odváděny, což zamezuje jejich akumulaci. Přetížení bioreaktoru vzniká při nadměrném přidavku substrátu do bioreaktoru. Známé je zejména při anaerobní digesci, kde je častou příčinou snížení produkce bioplynu. Matriály pro anaerobní digesci – kejda, hnůj, močůvka (Dohányos, 2011).

### **3. Závěr**

Výše uvedené kapitoly představují stručný přehled, který zohledňuje různé možnosti pohledu na biomasu. Podrobnější rozdělení je uvedeno v kapitole „Výběr a pěstování rostlin pro energetické využívání“, ve které jsou dostatečné informace věnující se energetickému využívání biomasy, ale je jisté, že ani zdaleka vyčerpávají.

Každou z forem biomasy lze popsat řadou různých parametrů, které jsou důležité pro posouzení a stanovení jejího potenciálu. Z literatury, kterou jsem pročetla a prostudovala, jsem zjistila řadu poznatků, díky kterým mohu na závěr svým způsobem provést posouzení vhodnosti vybraných rostlinných kultur pro různé způsoby energetického využití.

Hospodaření s energií patří mezi odvětví, ve kterém lze skloubit ekonomická i ekologická hlediska. Z hlediska ochrany přírody je hospodaření s energií důležité především pro stav klimatu, přírodní bohatství a krajinu. Energie získaná z biomasy je energií šetrnou vůči životnímu prostředí, což o fosilních palivech říci nelze. Cena biomasy je rozhodujícím faktorem pro rozlišení mezi „teoretickým“ potenciálem energie v dané formě biomasy a ekonomickým potenciálem, který je možné reálně využít vzhledem k trhu s biomasou a dalšími energetickými komoditami. Často nastává situace, kdy náklady na získání určité formy biomasy jsou takové, že je z ekonomického hlediska nereálné je využít. Ale vzhledem k blížící se vyčerpání klasických zdrojů energie, je i přesto pozornost zaměřena na biomasu, i když výroba elektřiny a tepla v zařízeních spalujících biomasu je dva až tři krát dražší ve srovnání s výrobními náklady při využití fosilních paliv. Nejstarším palivem, které je lidem známé je dřevo. V mnoha rozvojových zemích zůstává dřevo ještě dnes životně důležitým energetickým zdrojem. Spalováním dřeva se vyprodukuje o jednu třetinu méně emisí oxidů síry a dusíku než spalováním fosilních paliv. Spalování biomasy dřeva nebo jiných rostlinných produktů, může být plnohodnotnou náhradou využití fosilních paliv. Při zpracování dřeva v dřevařském průmyslu zůstává velké množství odpadů, které lze ještě využít k energetickým účelům. Výhodou dřeva, dřevního odpadu a slámy je, že je lze spalovat přímo nebo po mírném vysušení. Slámu lisovanou do velkých balíků se využívá hlavně u větších topných zařízení. Pro použití v rodinném domku se lépe jeví dřevěné nebo slámové pelety a dřevěné brikety. V současné době začaly peletky a brikety konkurovat např. tradičnímu plynu, jelikož se na trhu objevily moderní kotle, které pokud jde o účinnost, si s touto biomasou dovedou velice dobře poradit. Dalším způsobem jak získat biomasu dřeva je z plantáží rychle rostoucích dřevin na půdách nevyužívaných pro zemědělskou produkci. Je to způsob, kterým se dá zamezit zbytečné kácení lesů a přitom se využije půda ležící ladem. Nejlépe se pro tyto účely jeví topoly a vrby. Jsou zdrojem levného palivového dříví a dřevní štěpky, utvářejí krajinu – krajnotvorné prvky, nebo mohou být použity jako okrasné stromy, větrolamy, protihlukové bariéry. Plantáže RRD jsou cestou k energetické nezávislosti a ekologickému způsobu výdělků a jsou novou alternativou zemědělství.

K topení a získávání tepla a elektrické energie z energie vzniklé spalováním se používají i některé byliny. Vhodnost bylin se musí posuzovat komplexně – výhřevnost, tvorba biomasy, možnost opakované sklizně ze stejného porostu, možnost dvojí sklizně v roce a vhodnost materiálu pro další zpracování. V současné době se provádí mnoho pokusů, při

kterých se zjišťuje, které byliny poskytnou co největší množství biomasy a aby se vyplatilo jejich pěstování pro energetické účely. Bylinná biomasa se dnes využívá k výrobě bylinných pelet a briket. Jsou i jiné technologie pro zpracování bylinné biomasy jako zplyňování, metanové kvašení, spalování či esterifikace.

Další, ale dražší alternativa je zpracování zelené hmoty trav, JTS a TTP. Tento způsob energetického využití fytohmoty je mnohem nákladnější. Přebytečnou travní biomasu je možné využít v surovém stavu k výrobě bioplynu, ale jeho další využití je poměrně nízké z důvodů vysokých nákladů na zařízení a následnou výrobu. V poslední době roste zájem o výrobu etanolu, který vzniká alkoholovým kvašením cukrů. Výchozími surovinami pro jeho výrobu jsou produkty obsahující cukr, škrob popř. celulózu. Současný způsob výroby etanolu je nákladný a proto se hledají levnější a efektivnější způsoby k jeho získání.

Také zemědělství vytváří velké množství organických odpadů, které anaerobní fermentace umožňuje nejen likvidovat, ale také energeticky využívat. Ze zemědělských odpadů se nejvíce využijí sláma, kejda, trus, hnůj, podestýlka a zbytky travin, siláže, senáže, neprodejná zemědělská produkce. Je jen na zemědělských podnicích jak tyto odpady využijí. V podstatě jsou dva způsoby využití. Jeden jednoduchý – anaerobní rozklad za použití bakterií, které ke své činnosti potřebují specifické prostředí. Tímto způsobem se dá zpracovat jakákoli organická hmota zkvasitelná v průběhu procesu anaerobní fermentace. Produktem anaerobní fermentace je bioplyn, který lze efektivně využít k výrobě elektrické energie a tepla. Také může sloužit k pohonu spalovacích motorů spojených s agregátem na výrobu elektrické energie a odpadní teplo z chlazení motoru a spalín se dá zpětně využít k ohřevu anaerobních reaktorů či k výrobě teplé vody, vytápění, sušení apod. Druhý složitější systém a nový způsob využití bioplynu je tzv. trigenerace, specifický druh kogenerace – kombinovaná výroba elektřiny, tepla a chladu. Tato metoda umožňuje další zvýšení účinnosti využití zemědělských organických odpadů. Zbytek z výroby bioplynu tzv. digestát slouží jako hnojivo.

Z uvedených skutečností vyplývá, že zelenou má v současné době spalování biomasy bylin, slámy obilovin a dřeva. Biomasa bylin, obilovin a dřeva je stále k dispozici a její výtěžnost je poměrně vysoká. Většina lidí si dnes myslí, že vše co je ekologické, je zároveň drahé. Ekologický přínos topení dřevními peletami, případně obilím apod. je nepochybný. Ekonomický přínos topení těmito palivy je také nesporný. Jediným problémem může být omezený zdroj suroviny např. u dřevěných pelet, proto nelze předvídat jejich cenu a vyráběné množství.

Závěrem ještě dvě poznámky:

■ bylo by chybou považovat biomasu za palivo jednotných vlastností. Naopak každý její druh má své přednosti a nedostatky a jejich znalost může být hodně nápomocná při hledání cest k efektivnímu energetickému využívání.

■ možnosti biomasy jsou omezené a její získávání většinou není levné. Měli bychom proto s biomasou hospodařit co nejvíce efektivně. Budeme-li ji používat pouze k výrobě elektřiny, nebude účinnost transformace energie příliš přesahovat dvacet procent. Budeme-li ji používat k vytápění, bude to téměř čtyřikrát víc.

O současném století se často hovoří jako o století efektivity. Pokusme se efektivně zacházet také s biomasou.



#### 4. Přílohy – tabulky, grafy, obrázky

**Tab. č. 1 Energetický potenciál různých druhů biomasy  
(zdroj: www.biom.cz , 2011)**

| Druh biomasy          | Energie celkem (%) | Teplo (PJ)   | Elektrina (GWh) |
|-----------------------|--------------------|--------------|-----------------|
| Dřevo a dřevní odpad  | 24                 | 25,2         | 427             |
| Sláma obilnin/olejnin | 11,7               | 11,9         | 224             |
| Energetické rostliny  | 47,1               | 47,7         | 945             |
| Bioplyn               | 16,3               | 15,6         | 535             |
| <b>Celkem</b>         | <b>100</b>         | <b>100,4</b> | <b>2231</b>     |

**Tab. č. 2 Závislost obsahu vody na výhřevnosti biomasy  
(zdroj: www.energ.cz , 2011)**

| Druh biomasy   | Obsah vody v % | Výhřevnost MJ/kg |
|----------------|----------------|------------------|
| Polena         | 10             | 16,4             |
| Polena         | 20             | 14,28            |
| Polena         | 30             | 12,18            |
| Dřevní odpad   | 10             | 16,4             |
| Dřevní odpad   | 20             | 14,28            |
| Dřevní štěpka  | 30             | 12,18            |
| Dřevní štěpka  | 40             | 10,1             |
| Sláma obilovin | 10             | 15,5             |
| Sláma kukuřice | 10             | 14,4             |
| Lněné stonky   | 10             | 16,9             |
| Sláma řepky    | 10             | 16               |

**Graf: Náklady na vytápění: modelová situace (spotřeba tepla 65 GJ/18 kWh)  
(zdroj: www.energ.cz, 2011)**



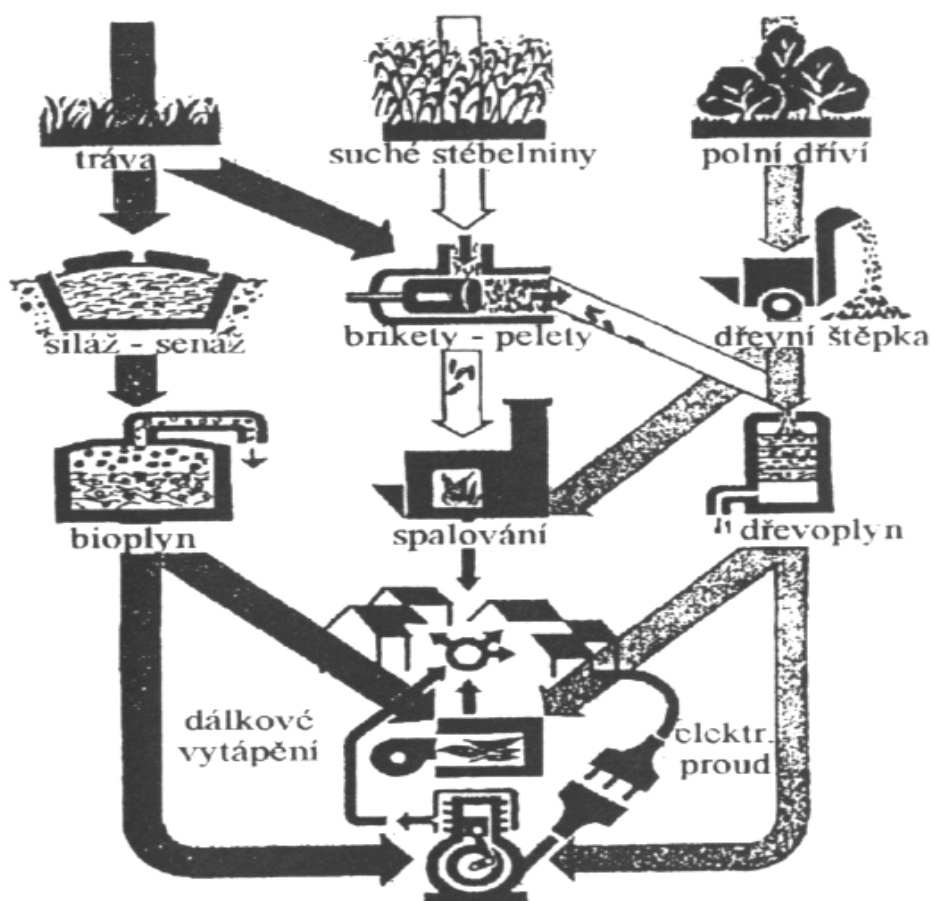
**Tab. č. 3 Výroba elektrické energie a tepla z obnovitelných zdrojů energie a z odpadů.  
(zdroj: ČSÚ, 2011)**

|                            | 2000                            | 2003  | 2004  | 2005  | 2006  | 2007  |
|----------------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                            | <b>Elektrická energie (GWh)</b> |       |       |       |       |       |
| Vodní elektrárny           | 2313                            | 1794  | 2563  | 3027  | 3257  | 2524  |
| Větrné elektrárny          | -                               | 4     | 10    | 21    | 49    | 125   |
| Pevná biomasa              | 382                             | 360   | 565   | 560   | 732   | 970   |
| Průmyslové odpady          | 201                             | 195   | 0     | 0     | 0     | 0     |
| Komunální odpady           | 5                               | 10    | 10    | 11    | 11    | 12    |
| Bioplyn                    | -                               | 108   | 139   | 161   | 175   | 222   |
|                            | <b>Teplo (TJ)</b>               |       |       |       |       |       |
| Pevná biomasa              | 3219                            | 31946 | 40230 | 40892 | 41760 | 44471 |
| Průmyslové odpady          | -                               | -     | -     | 990   | 400   | 400   |
| Komunální odpady           | 1664                            | 2048  | 2052  | 1979  | 1910  | 1888  |
| Bioplyn                    | 384                             | 781   | 968   | 1010  | 919   | 1002  |
| Tepelná čerpadla           | -                               | -     | 500   | 545   | 676   | 826   |
| Solární termální kolektory | -                               | -     | 84    | 103   | 128   | 163   |

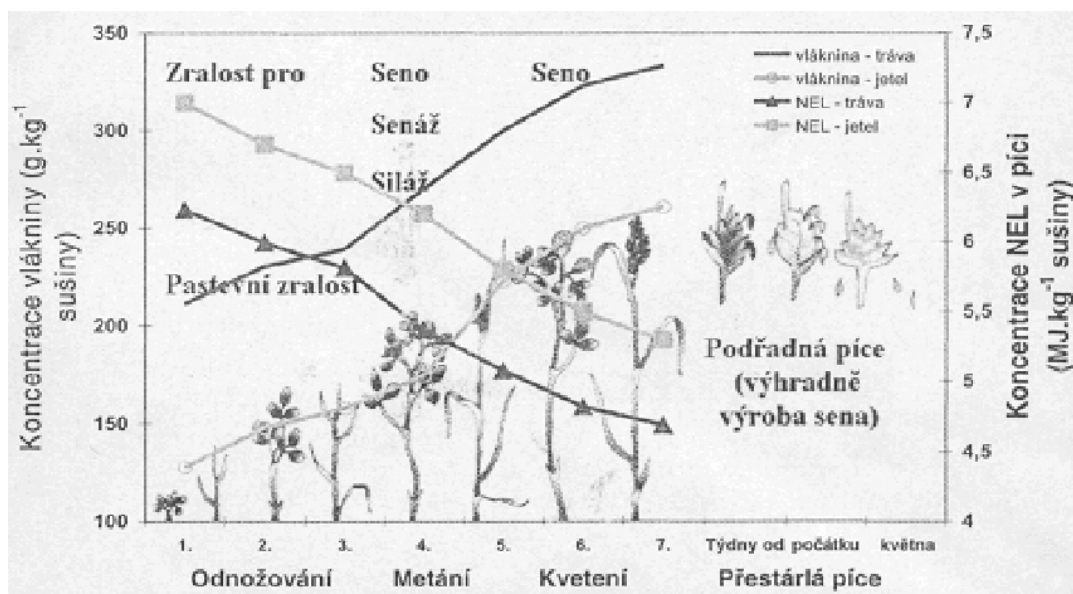
Tab. č. 4 Plochy trvalých travních porostů v České republice v letech 1930 – 2006 v tis.ha

| Rok  | Louky | Pastviny | Celkem |
|------|-------|----------|--------|
| 1920 | 766   | 406      | 1172   |
| 1934 | 746   | 320      | 1066   |
| 1948 | 726   | 367      | 1093   |
| 1961 | 692   | 304      | 996    |
| 1977 | 594   | 280      | 874    |
| 1985 | 567   | 256      | 823    |
| 1991 | 602   | 262      | 864    |
| 1999 | 665   | 285      | 950    |
| 2006 |       | 976      |        |

Obr. 1 Základní směry zpracování biomasy a energetické využití (autor: Kramoliš, 2011)



Obr. 2 Růstové fáze trav a jetelovin, jejich vliv na kvalitu píce a způsob využití (autor: Kramoliš, 2011).



Tab. č. 5 Průměrná roční produkce slámy v ČR

| Plodina          | Průměrná sklizňová plocha (ha) | Průměrný výnos (t/ha) | Průměrná produkce slámy (t) |
|------------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| Pšenice ozimá    | 850931                         | 4,6                   | 3949561                     |
| Pšenice jarní    | 63236                          | 3,1                   | 192659                      |
| Žito             | 39781                          | 3,5                   | 139501                      |
| Ječmen ozimý     | 147025                         | 4,0                   | 588300                      |
| Ječmen jarní     | 345620                         | 3,5                   | 1207547                     |
| Oves             | 52982                          | 2,8                   | 146643                      |
| Kukuřice na zrno | 59930                          | 7,3                   | 442948                      |
| Ostatní obilniny | 34749                          | 2,9                   | 120416                      |
| Obilniny celkem  | 1611951                        | 4,3                   | 6854218                     |
| Řepka            | 326624                         | 2,3                   | 842427                      |
| TTP celkem       | 455807                         | 3,1                   | 1249442                     |

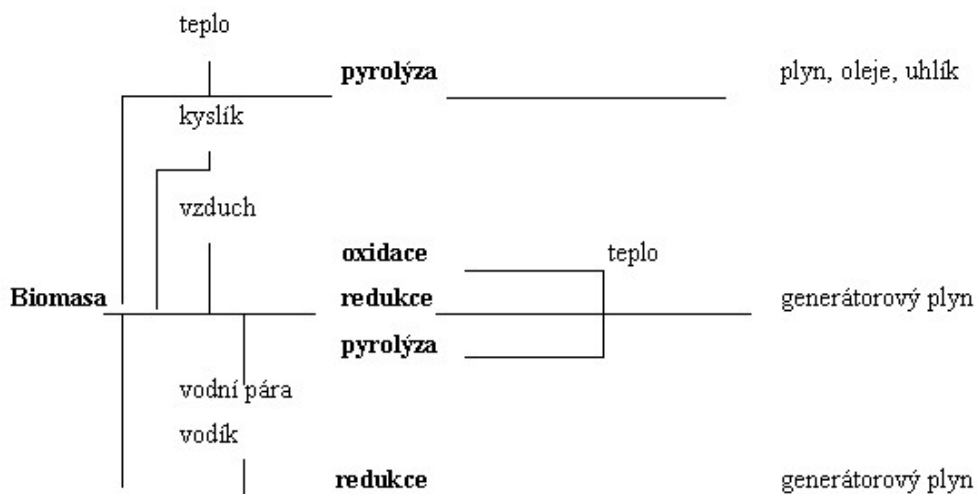
**Tab. č. 6 Chemické složení slámy**

| Ukazatel           | Sláma obilní | Sláma řepková |
|--------------------|--------------|---------------|
| C (%)              | 47           | 46            |
| O <sub>2</sub> (%) | 38           | 40            |
| H (%)              | 5,6          | 5             |
| S (%)              | 0,1          | 0,2           |
| Cl (%)             | 0,1          | 0,1           |
| popel (%)          | 5            | 6             |
| Výhřevnost (MJ/kg) | 14           | 15            |

**Tab. č. 7 Průměrné výnosy suché biomasy (t/ha) u jednotlivých výkonných trav z 1. seče v prvním a druhém užitkovém roce (Frydrych a kol.: Zemědělské informace ÚZTI, Praha 2001, č. 23)**

| Druhy trav           | Bez hnojení  |      | Hnojení N 50 kg/ha |       |
|----------------------|--------------|------|--------------------|-------|
|                      | Užitkový rok |      | Užitkový rok       |       |
|                      | 1.           | 2.   | 1.                 | 2.    |
| Kostřava rákosovitá  | 3,98         | 6,88 | 5,29               | 10,1  |
| Ovsík vyvýšený       | 3,37         | 6,38 | 4,31               | 8,77  |
| Psineček velký       | 4,47         | 8,21 | 8,06               | 10,17 |
| Kostravice bezbranná | 5,09         | 4,33 | 6,94               | 6,58  |

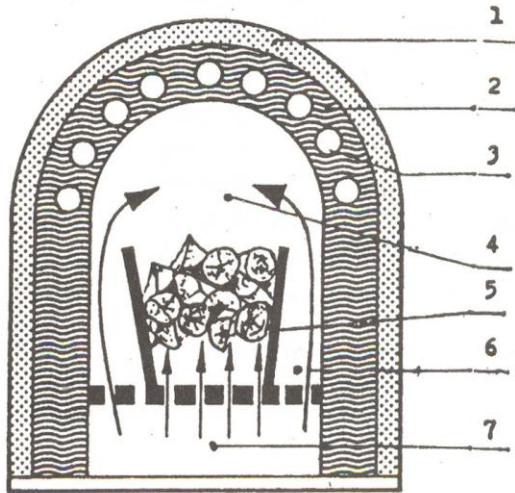
**Obr. 2 Procesy zplynování**



**Tab. č. 8 Chemické složení a vlastnosti bioplynu**

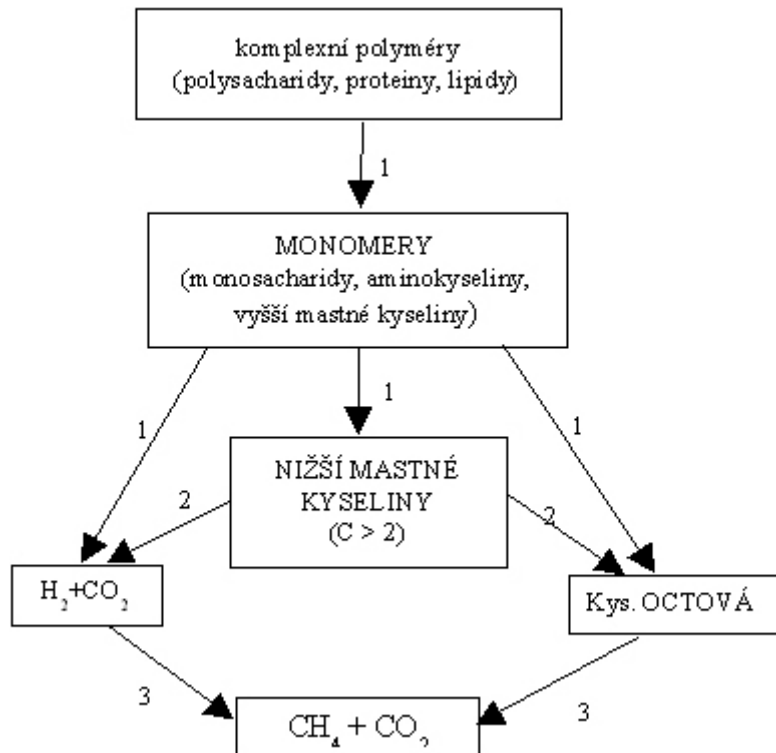
| Charakteristika                 | Metan CH <sub>4</sub> | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> S | Bioplyn<br>60 % CH <sub>4</sub><br>40% CO <sub>2</sub> |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------|----------------|------------------|--|
| Objemový díl (%)                | 55-70                 | 27-47           | 1              | 3                | 100  |
| Výhřevnost (MJ/m <sup>3</sup> ) | 35,8                  | -               | 10,8           | 22,8             | 21,5   |
| Hranice zápalnosti (obj. %)     | 5-15                  | -               | 4-80           | 4-45             | 6-12   |
| Zápalná teplota (°C)            | 650-750               | -               | 858            | -                | 650-750  |
| Hustota (kg/m <sup>3</sup> )    | 0,72                  | 1,98            | 0,09           | 1,54             | 1,2  |

Obr. 3 Kotel na spalování polen



**Kotel na spalování polen  
(a malých balíčků slámy).**  
 1 - Tepelně-izolační plášť, 2 - vodní náplň, 3 - trubky pro vedení spalin, 4 - spalovací prostor, 5 - oddělovací stěny pro vedení sekundárního vzduchu, 6 - vedení sekundárního vzduchu,

Obr. 4 Schéma anaerobního rozkladu za tvorby bioplynu



**Tab. č. 9 Výroba elektřiny z biomasy podle jejich typů v roce 2006 v ČR (Havlíčková, 2008)**

| Palivo               | Výroba v (MWH) | Spotřeba (t) |
|----------------------|----------------|--------------|
| Dřevní štěpka, odpad | 272 725        | 250 150      |
| Celulóznové výluhy   | 350 028        | 184 619      |
| Rostlinné materiály  | 84 465         | 62 146       |
| Brikety, pelety      | 23 850         | 15 519       |

**Tab. č. 10 Množství biomasy využití k výrobě tepla podle jejich typů v roce 2006 (Havlíčková, 2008).**

| Palivo               | Spotřeba (t) |
|----------------------|--------------|
| Dřevní štěpka, odpad | 881 457      |
| Celulóznové výluhy   | 883 578      |
| Rostlinné materiály  | 12 307       |
| Brikety, pelety      | 8 134        |
| Palivové dřevo       | 54 102       |

**Tab. č. 11 Energetické využití biomasy v roce 2006 (Havlíčková, 2008).**

| Palivo               | Spotřeba (t) |
|----------------------|--------------|
| Dřevní štěpka, odpad | 1 131 607    |
| Celulóznové výluhy   | 1 068 197    |
| Rostlinné materiály  | 74 453       |
| Brikety, pelety      | 23 653       |
| Palivové dřevo       | 54 102       |
| Celkem               | 2 352 012    |



## 5. Použitá literatura

- 1) Adamovský, Radomír. Ekologické aspekty využití a výroby energie v zemědělství – sborník vědeckého semináře, Česká zemědělská univerzita v Praze, 1996. 106s., ISBN 80-213-0272-0, řada 1
- 2) Anonym č. 1. Pšenice, 2011. Dostupné z - <http://cs.wikipedia.org/wiki/Pšenice>
- 3) Karpíšková, Dana. nazeleno.cz: Biomasa - chytrá řešení pro každého, 2011. Dostupné z - <http://www.nazeleno.cz/biomasa.dic>
- 4) Anonym č. 2. Jetel luční /Trifolium pretense/, 2011. Dostupný z - <http://rostliny.prirodou.cz/bobovite/jetel/jetel-lucni/>
- 5) Anonym č. 3. Způsoby využití biomasy k energetickým účelům, 2011. Dostupné z - <http://forestgamp.eu/biomasa.html>
- 6) Balák, Rudolf. Nové zdroje energie, Nakladatelství technické literatury v Praze, 1989. 208s. ISBN 80-7018-150-1
- 7) Beranovský, Jiří; Kašparová, Monika et al. Energie biomasy, EkoWatt přední česká poradenská společnost v oblasti energetiky, ekonomiky a životního prostředí, 2007. Dostupné z - <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-biomasy>
- 8) Berka, Tomáš. Nepotravinářská produkce na orné půdě, Mendlova zemědělská a lesnická univerzita, Agronomická fakulta, Ústav pěstování, šlechtění rostlin a rostlinolékařství, Brno, 2009. 30s.
- 9) Celjak, Ivo. Využití biomasy rychle rostoucích dřevin v energetice sídel, Sborník z Mezinárodní konference „Obnovitelné zdroje v energetice sídel“, 6. – 7.11.2007, Praha, 2007. 26s., ISBN 978-80-254-0841-4
- 10) Dohányos, Michal. Teoretické základy anaerobní fermentace, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2011. Dostupné na - <http://www.czba.cz/index.php?art=page&parent=vse-o-bioplynu&nid=teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>
- 11) Fiala, Josef; Gaisler, Jan. Obhospodařování travních porostů pícninářsky nevyužívaných – Metodiky pro zemědělskou praxi 5/1999, Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha, 1999. 38s., ISBN 80-7271-029-X, ISSN 1211-9199
- 12) Godin S., Delcarte J. (2010): Biotechnology, Agronomy and Society and Environment, Volume 14, Issue SPEC., Issue 2, 2010, pages 549 – 560, ISSN: 13706233, Source type: Journal

- 13) Hanzák, Jan; Potůček, Miloslav. Pěstování rychle rostoucích dřevin, 2009. Dostupné z - [www.less.cz/DocumentStore/RRD\\_plantážnictví.pdf](http://www.less.cz/DocumentStore/RRD_plantážnictví.pdf)
- 14) Havlíčková, Kamila et al. Zhodnocení ekonomických aspektů pěstování a využití energetických rostlin, Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví v Průhonicích, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích – Zemědělská fakulta, 2007. 92s., ISBN 978-80-85116-00-7, 978-80-7040-948-0
- 15) Havlíčková, Kamila et al. Rostlinná biomasa jako zdroj energie, Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví v Průhonicích, 2008. 83s., ISBN 978-80-85116-65-6(VÚKOZ, Průhonice), ISBN 978-80-7415-004-3(Nová Tiskárna Pelhřimov, s.r.o. Pelhřimov), ISSN 0374-5651
- 16) Christersson L. (2010): Biomass and bioenergy, Section of short rotation forestry, VPE, SLU, Uppsala, Sweden, Volume 34, Issue 9, september 2010, pages 1289 -1299, ISSN: 09619534, Source type: Journal
- 17) Kára, Jaroslav et al. Obnovitelné zdroje energie – praktická příručka, Česká zemědělská tiskárna s. r. o. Praha, 1993. 208s., ISBN 80-7084-067-6
- 18) Kolektiv autorů. Energetické plodiny, Nakladatelství Profi Press, s. r. o. Praha, 2006. 127s., ISBN 80-86726-13-4
- 19) Konvalina, Petr et al. Pěstování rostlin v ekologickém zemědělství, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2007. Zemědělská fakulta, České Budějovice, 118s., ISBN 978-80-7394-031-7
- 20) Koubová, Dana. Pionýrská rostlina pro písčité půdy, článek: 71109. Neue Landwirtschaft, 2007, č. 9, 50 – 51s. /citace 27.2.2008/. Dostupný na - <http://www.asz.cz/redakce/tisk.php?lanG=cs&clanek=25613&slozka=5880&xsekce=6068> &
- 21) Kovářová, Marie; Abrhám, Zdeněk; Jevič, Petr; Šedivá, Zdeňka. Pěstování a využití energetických a průmyslových plodin, Výzkumný ústav zemědělské techniky v Praze, 2010. Dostupné na - <http://www.vuzt.cz/?menuid=76>
- 22) Kramoliš, Petr. Využití travní fytomasy pro výrobu elektrické energie a tepla, Biom.cz [online], 3.11.2004 /citace 24.2.2011/. Dostupné z - <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-travni-fytomasy-pro-vyrobu-elektricke-energie-a-tepla>, ISSN: 1801-2655
- 23) Malat'ák, Jan; Vaculík, Petr. Biomasa pro výrobu energie, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. 206s., ISBN 978-80-213-1810-6

- 24) Míka, Václav et al. Morfogeneze trav, Výzkumný ústav rostlinné výroby Praha – Ruzyně, 2002. ISBN 80-86555-20-8
- 25) Pozdíšek, Jan; Kohoutek, Alois. Sveřep horský (*Bromus marginatus* Nees ex Steud.) – výkonná silážní tráva vhodná pro sušší polohy od nížin až do podhůří, Sborník z mezinárodní vědecké konference „Ekologicky šetrné a ekonomicky přijatelné obhospodařování travních porostů“, 10.listopadu 2003, VÚRV Praha 6 – Ruzyně, 2003. pp.140-146
- 26) Moudrý, Jan. Fytomasa pro energetické účely, 2011. Dostupné z - <http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/databaze/index.php?n1=1&n2=4&n3=0&n4=0&poloha=1>
- 27) Moudrý, Jan. Sléz přeslenitý (krmný) *Malva verticillata* L., 2011. Dostupné z - <http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/databaze/index.php?n1=2&n2=8&n3=3&n4=5&poloha=1>
- 28) Moudrý, Jan et al. Ekologické zemědělství – vysokoškolská učebnice, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Katedra agroekologie, České Budějovice, 2007. 219s., ISBN 978-80-7394-046-1
- 29) Noskovič, Pavel et al. (1996): Biomasa a její energetické využití, Vysoká škola báňská Ostrava, 1996. Technická univerzita, 69s., ISBN 80-7078-367-2
- 30) Pastorek, Zdeněk. Využití biomasy k energetickým účelům v zemědělství – sborník vědeckého semináře, Česká zemědělská univerzita v Praze, 1996. 106s., 80-213-0272-0
- 31) Petr, Jiří; Černý, Vladimír; Hruška, Ladislav et al. Tvorba výnosu hlavních polních plodin, 1. vydání. Státní zemědělské nakladatelství v Praze, 1980. 448s., 07-069-80-04/11
- 32) Petříková, Vlasta. Krmný sléz v provozních podmínkách, Výzkumný ústav rostlinné výroby Praha, 1999, časopis BIOM 2/1999. Dostupný na - <http://stary.biom.cz/biom/6/petrikova1.html>
- 33) Poncarová, Jana. Biomasa v České republice: kolik vyrábíme elektřiny, 2009, /citace 26.3.2009/. Dostupné z - [www.nazeleno.cz/energie/biomasa-v-ceske-republice-kolik-vyrabime-elektriny.aspx](http://www.nazeleno.cz/energie/biomasa-v-ceske-republice-kolik-vyrabime-elektriny.aspx)
- 34) Pulkrábek, Josef; Šnobl, Josef. SMEP 3.1-Skriptum, SMEP – Systém multimedialní elektronické publikace, ČZU Praha, 2004, ISBN 80-213-1153-3. Dostupné z - [http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul\\_key=85&idkapitola=8](http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul_key=85&idkapitola=8)
- 35) Pulkrábek, Josef; Capouchová, Ivana. SMEP 3.1-Skriptum, výroba bioplynu, 2011. SMEP – systém multimedialní elektronické publikace. Dostupné na - [http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul\\_key=4&idkapitola=228](http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul_key=4&idkapitola=228)

- 36) Schiller, M. Water and waste water, International, Industrial segment of CIAT, CULOZ, France, Volume 23, Issue 5, october 2008, pages 14 – 17, ISSN: 08915385, Source type: Trade Journal
- 37) Sladký, Václav. Spalování biomasy – ekonomika a ekologie, Technická fakulta České zemědělské univerzity v Praze, 1993. 106s., ISBN 80-213-0272-0
- 38) Stupavský, Vladimír. Výběr vhodného stanoviště pro založení plantáže rychle rostoucích dřevin, časopis Energie 21, publikováno 27.4.2009, číslo 4/09
- 39) Šantrůček, Jaromír et al. Základy pěstování víceletých pícnin na orné půdě, Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství České republiky v Praze, 1995. 32s., ISBN 80-75105-094-6
- 40) Šantrůček, Jaromír et al. Základy pícninářství, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2001. 146s., ISBN 80-213-0764-1
- 41) Šantrůček, Jaromír et al. Encyklopedie pěstování víceletých pícnin na orné půdě, Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha, 2003. 60s., ISBN 80-7271-132-6
- 42) Šarapatka, Bořivoj; Urban, Jiří et al. Ekologické zemědělství v praxi, PRO-BIO Svaz ekologických zemědělců, Šumperk, 2006. 502s., ISBN 978-80-903583-0-0
- 43) Šnobl, Josef; Pulkrábek, Josef et al. Základy rostlinné produkce, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2005. 172s., ISBN 80-213-1340-4
- 44) Šoltésová, Jana. Bojínek luční – *Phleum pratense*, byl publikován 8.zářím 2006. Dostupné na - <http://www.priroda.cz/lexikon.php?detail=720>
- 45) Šoltésová, Jana. Srha laločnatá (říznačka) – *Dactylis glomerata*, byl publikován 14.srpna 2006. Dostupné na - <http://www.priroda.cz/lexikon.php?detail=698>
- 46) Šroller, Josef et al. Speciální fytotechnika rostlinná výroba, Nakladatelství EKOPRESS, s.r.o., Praha 4, 1997. 205 s., ISBN 80-86119-04-1
- 47) Tichý, František et al. Pěstební technologie a úprava zrna pšenice ozimé a tritikale pro výrobu etanolu, Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha, 2001. Zemědělské informace 5/2001, 41s., ISBN 80-7271-078-8
- 48) Trnavský, Jiří. Rostlinná výroba pro český bioplyn, 25.6.2010, zdroj: VÚRV Praha, v.v.i., a KWS Osiva s.r.o. Dostupné z - [http://www.mechanizaceweb.cz/@AGRO/informacni-servis/Rostlinna-vyroba-pro-cesky-bioplyn\\_\\_s544x46867.html](http://www.mechanizaceweb.cz/@AGRO/informacni-servis/Rostlinna-vyroba-pro-cesky-bioplyn__s544x46867.html)

- 49) Vaňatová, Petra. Na poli zaujali netradiční plodiny, časopis Úroda, 2008 /citace 28.7.2008/. Dostupné na - [http://www.uroda.cz/@AGRO/informacni-servis/Na-poli-zaujaly-netradicni-plodiny\\_\\_s457x31304.html](http://www.uroda.cz/@AGRO/informacni-servis/Na-poli-zaujaly-netradicni-plodiny__s457x31304.html)
- 50) Vlasák, Petr; Weger, Jan. Analýza biometrických a výnosových parametrů rychle rostoucích dřevin, Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, Průhonice, 67s., ročenka 2005,. Dostupné na - [www.vukoz.cz/sites/File/rocenka\\_2005.pdf](http://www.vukoz.cz/sites/File/rocenka_2005.pdf)
- 51) Weger, Jan. Výmladkové plantáže topolů a vrb, Biom.cz. [online], 5.1.2011, /citace 14.2.2011/. Dostupné na - [www.biom.cz/cz/odborne-clanky/vymladkove-plantaze-topolu-a-vrb](http://www.biom.cz/cz/odborne-clanky/vymladkove-plantaze-topolu-a-vrb), ISSN 1801-2655
- 52) Zimová, Dana. Energetické plodiny, studie VTR, 1991. ÚVTIZ Praha, 43s., ISSN 0862-3562