

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



Energetické plodiny současný stav využití

Bakalářská práce

Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Polák, Ph.D.

Autor práce: David Podolský

Praha 2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

David Podolský

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Energetické plodiny současný stav využití

Název anglicky

Energy plants contemporary state of use

Cíle práce

Na základě literární rešerše popsat současný stav využívání energetických plodin v podmínkách ČR. Provést technicko-ekonomické zhodnocení vybrané plodiny.

Metodika

- provést rešerši možností a zdrojů energetických plodin
- vyhodnotit technicko-ekonomické vlastnosti při energetickém využívání dané plodiny

Doporučený rozsah práce

40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

energetické plodiny, biomasa

Doporučené zdroje informací

KÁRA, J.; ADAMOVSÝ, R.: Termochemická přeměna biomasy. In: Využití biomasy pro výrobu tepla, Informační centrum ČKAIT Praha 1998.

Kolektiv: Energetické plodiny. Profi Press, Praha 2006, 126 s., ISBN 80-86726-13-4

PASTOREK, Z.; KÁRA, J.; JEVÍČ, P.: Biomasa obnovitelný zdroj energie. FCC PUBLIC Prague, Prague 2004, 288 s. ISBN 80-86534-06-5.

RYBÍN, M.: Spalování paliv a hořlavých odpadů v ohništích průmyslových kotlů. SNTL Praha, Praha 1985, 418 s.

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Martin Polák, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra mechaniky a strojnictví

Elektronicky schváleno dne 16. 1. 2014

prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 3. 2. 2014

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 22. 03. 2016

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Energetické plodiny současný stav využití vypracoval samostatně a použil jsem jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne

.....
David Podolský

V úvodu této práce bych rád poděkoval panu doc. Ing. Martinu Polákovi, Ph.D. za odborné vedení, poskytnuté rady a věcné připomínky při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Martinu Žáčkovi z bioplynové stanice Jetřichovec za poskytnuté informace využité k sepsání této práce.

Abstrakt: Tato bakalářská práce se zabývá problematikou pěstování a využívání energetických plodin na území České republiky. Nejprve se zaměřuje na vymezení pojmu biomasy, na její vznik, složení a následné možnosti energetického využití. Práce dále podrobně rozebírá vybrané jednoleté a vytrvalé energetické plodiny a rychlerostoucí dřeviny, jejich způsob pěstování a následné energetické využití. Podrobněji popisuje pěstování a využívání autorem vybrané plodiny - kukuřice (*Zea mays* L.). Zabývá se také analýzou technicko-ekonomických parametrů této plodiny a jejím využitím v konkrétní bioplynové stanici k produkci bioplynu s následným využitím v kogeneračních jednotkách.

Klíčová slova: energetické plodiny, biomasa, kukuřice, bioplyn

ENERGY PLANTS CONTEMPORARY STATE OF USE

Summary: This bachelor's work studies the problems about the cultivation and the utilization of the energy plants in the Czech Republic. At first, it focuses on the definition of a biomass, its origin, the composition and the subsequent possibility of the energy utilization. The work also analyzes selected annual and perennial energy plants and the fast-growing trees, their way of cultivation and the subsequent energy use. Furthermore, the author deals in detail with the cultivation and use of maize (*Zea mays* L.). The analysis of technical and economic parameters of this chosen energy plant is included and the use of maize in the specific biogas station to produce a biogas and its following use in cogeneration units is described.

Key words: energy plants, biomass, maize, biogas

OBSAH

1	Úvod	1
2	Analýza současného stavu využívání energetických plodin	2
2.1	Biomasa.....	2
2.1.1	Druhy biomasy	3
2.1.2	Vznik a složení rostlinné biomasy	3
2.1.3	Využití biomasy k energetickým účelům	5
2.2	Energetické plodiny	7
2.2.1	Jednoleté rostliny	8
2.2.1.1	Konopí seté (<i>Cannabis sativa</i> L.)	8
2.2.1.2	Triticale (<i>Triticosecale</i>).....	10
2.2.2	Víceleté a vytrvalé rostliny	11
2.2.2.1	Topinambur hlíznatý (<i>Helianthus tuberosus</i> L.).....	11
2.2.2.2	Šťovík krmný (<i>Rumex patientia</i> L. x <i>Rumex tianschanicus</i> A. Los.)	14
2.2.3	Energetické trávy	16
2.2.3.1	Ozdobnice čínská (<i>Miscanthus sinensis</i> Anderss.)	16
2.2.3.2	Ovsík vyvýšený (<i>Arrhenatherum elatius</i> L.)	18
2.2.3.3	Lesknice rákosovitá (<i>Phalaris arundinacea</i> L.)	20
2.2.3.4	Sveřep bezbranný (<i>Bromus inermis</i> Leyss.)	21
2.3	Rychlerostoucí energetické dřeviny	24
2.3.1	Topoly a vrby (rody <i>Populus</i> a <i>Salix</i>)	24
3	Výběr a specifikace energetické plodiny	27
3.1	Kukuřice (<i>Zea mays</i> L.)	27
3.1.1	Pěstování kukuřice pro výrobu bioplynu	29
4	Technologie energetického využití biomasy	30
4.1	Přímé spalování.....	31
4.2	Výroba biopaliv	32
4.2.1	Alkoholové kvašení	32
4.2.2	Esterifikace bioolejů	33
4.3	Anaerobní fermentace	34
4.3.1	Materiály vhodné pro výrobu bioplynu	35
4.3.2	Složení bioplynu	36
4.3.3	Vlastnosti bioplynu	37
4.3.4	Využití bioplynu k energetickým účelům.....	37

5	Analýza energetického využití kukuřice v konkrétních podmínkách zemědělského družstva	38
6	Závěr	44
7	Seznam použité literatury	45
8	Seznam použitých zkratek.....	47
9	Seznam obrázků	48
10	Seznam tabulek	48

1 ÚVOD

Doba, ve které žijeme, je stále více ovlivněna neustále se zvyšujícím počtem obyvatel. S tímto populačním růstem úzce souvisí zvyšující se individuální i kolektivní spotřeba energie, zejména z důvodu industrializace společnosti. V dřívějších dobách (19. a 20. století) se zajišťování energie ubíralo jednoznačným směrem, kterým bylo získání energie z fosilních paliv. Za zlomové se dá považovat období první ropné krize, které nastalo v 2. polovině 20. století a nastartovalo obrat v oblasti přístupu ke zdrojům energie. V současnosti, především kvůli rychlému poklesu zásob fosilních paliv a také kvůli negativním dopadům na životní prostředí při jejich využívání, se lidstvo začalo zaměřovat na energie z obnovitelných zdrojů.

Problémy, které jsou spojeny s neustálým používáním fosilních paliv, je možné vidět stále častěji. Bohužel se obvykle jedná o těžko odstranitelné problémy zejména v globálním měřítku. Mezi tyto problémy především spadá neustálé oteplování celé planety a také stále se zvyšující množství smogu, ať už na území naší republiky, nebo i v největších a nevyspělejších zemích světa. Využívání obnovitelných zdrojů energie by mohlo tyto problémy zmírnit.

Na území České republiky je možné nalézt pouze velmi omezené zdroje fosilních paliv. Jelikož tyto zdroje energie nejsou neomezené i zde se přistupuje k využívání obnovitelných zdrojů. Těmi mohou být vodní energetické zdroje (malé a velké vodní elektrárny) a sluneční energie (fotovoltaické elektrárny). Méně využívanými zdroji energie jsou větrné elektrárny. V neposlední řadě je v naší republice také využívána jako obnovitelný zdroj energie biomasa, která poskytuje stále vyšší potenciál využití.

Využití odpadní i cíleně pěstované biomasy jako zdroje energie skýtá řadu výhod, jako například to, že se jedná o tuzemský zdroj energie, její využití přispívá k nižšímu zatížení životního prostředí a v neposlední řadě, že její řízená produkce přispívá k udržení trvalého rozvoje zemědělství a také k vytváření krajiny. Díky těmto pozitivním faktům se využívání biomasy jeví z dlouhodobého hlediska jako výhodné.

Tato práce se zabývá současným stavem využití energetických plodin pro získání energie v České republice. Podrobněji popisuje u nás nejčastěji pěstované plodiny využívané pro energetické účely a jejich nároky na pěstování. Dále se zabývá využitím cíleně pěstovaných plodin k získání energie v bioplynových stanicích.

2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU VYUŽÍVÁNÍ ENERGETICKÝCH PLODIN

2.1 BIOMASA

Obecně lze definovat biomasu jako hmotu biologického původu, která vzniká záměrně nebo jako odpad. Původem biomasy může být pěstování rostlin, chov živočichů, ale také to mohou být organické odpady. Biomasa je jedním z obnovitelných zdrojů energie s velkým energetickým potenciálem [Pastorek *et al.*, 2004]. Podle Nařízení vlády č. 352/2002 Sb.: „*je pojem biomasa definován jako rostlinný materiál, který lze použít jako palivo pro účely využití jeho energetického obsahu, pokud pochází ze zemědělství, lesnictví, nebo z potravinářského průmyslu, z výroby surové buničiny a z výroby papíru z buničiny, ze zpracování korku, ze zpracování dřeva s výjimkou dřevního odpadu, který obsahuje halogenované organické sloučeniny nebo těžké kovy v důsledku ošetření látkami na ochranu dřeva nebo nátěrovými hmotami, a dřevní odpad pocházející ze stavebnictví.*“

Základním způsobem se biomasa dělí na cíleně pěstovanou a na biomasu odpadní, která pochází z potravinářské, zemědělské a lesní výroby, z údržby krajiny a z komunálního hospodářství. Biomasa může být cíleně produkována pro účely energetické, potravinářské, krmivářské a také jako surovina pro průmysl [Pastorek *et al.*, 2004]. Biomasa je obnovitelný zdroj energie, který se může přeměňovat jak na teplo, tak na elektrickou energii a chemicky vázanou energii [Hrdlička, 2003].

Výhodou při využívání biomasy pro energetické účely je především nižší negativní dopad na životní prostředí, než při využívání běžných fosilních paliv. Mezi výhody patří také skutečnost, že je biomasa zdrojem energie s obnovitelným charakterem. Při jejím využívání se také snižuje potřeba dovozu energetických zdrojů z jiných zemí, jelikož se jedná o tuzemský energetický zdroj.

Využití biomasy jako zdroje energie s sebou ale přináší i mnoho nevýhod. Jednou z nich je skutečnost, že produkování biomasy pro energetické účely může konkurovat jejímu dalšímu využití. Další nevýhodou je také to, že se zvyšováním produkce biomasy je nutné rozšiřovat produkční plochy nebo zintenzivnit její samotnou výrobu. To vše s sebou přináší neustálé zvyšování investic [Pastorek *et al.*, 2004].

2.1.1 Druhy biomasy

Biomasu pro energetické využití dělíme do dvou hlavních skupin: cíleně pěstovaná biomasa a odpadní biomasa. Mezi cíleně pěstovanou biomasu patří jak energetické byliny (fytomasa), tak dřeviny (dendromasa). Nejvýznamnějšími zástupci jsou řepka olejná, cukrová řepa, brambory, obilí, cukrová třtina a dále topoly, vrby, olše a akáty.

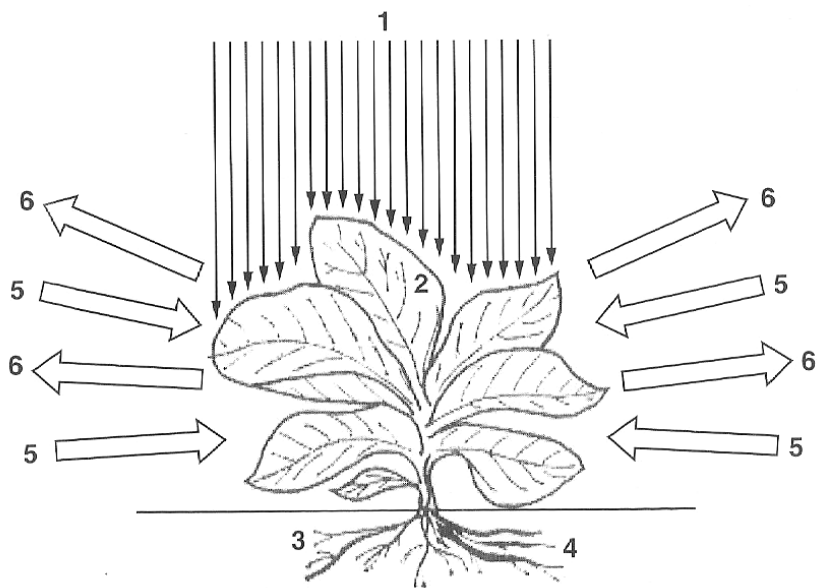
Mezi odpadní biomasu se řadí: rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny, odpady z živočišné výroby, komunální organické odpady, organické odpady z potravinářských a průmyslových výrob a lesní odpady. Rostlinnými zbytky se rozumí především různé druhy slámy, jako je sláma řepková, kukuřičná a obilná. Dále do této skupiny řadíme zbytky z luk a pastvin, zbylé materiály z likvidace křovin a odpady z vinic a sadů. Do odpadů z živočišné výroby patří exkrementy zvířat chovaných k hospodářským účelům a zbytky krmiv, které nebyly spotřebovány. Skupina komunálních odpadů zahrnuje kaly z odpadních vod, odpadní zbytky z údržby zeleně a organickou složku tuhých komunálních odpadů. Další skupinou odpadní biomasy jsou odpady z různých výrob. Tam řadíme odpady z jatek, mlékáren, lihovarů, konzerváren, dřevařských a vinařských provozoven. Lesními odpady neboli tzv. dendromasou se rozumí dřevní hmota po těžbě dřeva, lesních probírkách a dále palivové dřevo [Pastorek *et al.*, 2004].

Pastorek *et al.* [2004] dále také dělí energetickou biomasu do těchto pěti skupin: fytomasa s vysokým obsahem lignocelulózy, fytomasa olejnatých plodin, fytomasa s vysokým obsahem škrobu a cukru, organické odpady a vedlejší produkty živočišného původu a směsi různých organických odpadů.

2.1.2 Vznik a složení rostlinné biomasy

Rostlinná biomasa vzniká procesem fotosyntézy, během níž rostliny spotřebovávají atmosférický oxid uhličitý (CO_2), který je rostlinami asimilován a redukován. Vzniká z něj jednoduchý cukr: glukóza a postupně další složitější organické sloučeniny. Pro tento proces je nezbytné sluneční záření, které je zachycováno pomocí barviva chlorofylu a energie z něj je následně využita pro vznik glukózy. Odpadním produktem fotosyntézy je kyslík (O_2), který je vypouštěn zpět do atmosféry. K růstu a produkci biomasy jsou pro rostlinu důležité ještě další látky. Mezi ně patří především minerální látky, které rostlina může získávat díky hnojení.

Také je velmi důležitý dostatek vody a vhodná teplota [Murtinger a Beranovský, 2008]. Schéma procesu fotosyntézy je znázorněno na Obr. 1.



Obr. 1 Obecné schéma procesu fotosyntézy; 1 - sluneční záření, 2 - chlorofyl, 3 - minerální látky, 4 - voda, 5 - oxid uhličitý, 6 - kyslík.

Zdroj: Pastorek *et al.*, 2004

Na složení rostlinné biomasy se podílejí různé chemické sloučeniny, z nichž největší význam při použití biomasy pro energetické účely mají celulóza, škrob, lignin, oleje a pryskyřice. Celulóza je základním stavebním materiálem rostlinných buněk, a proto je přítomna ve všech druzích rostlinné biomasy. Je to polysacharid složený z jednotek glukózy, které jsou navzájem propojeny [Murtinger a Beranovský, 2008]. V rostlinných materiálech celulóza vytváří vlákna, která jsou dále propojena s jinými polymerními látkami, jako jsou hemicelulózy a lignin. Mezi materiály tvořené převážně celulózou patří odpady jako sláma (obilná i kukuřičná), dřevo a dřevní štěpka, dřevěné piliny, odpadní papír a samozřejmě energetické plodiny [Paulová *et al.*, 2010] jako píce a obiloviny. Tyto materiály jsou vhodné pro spalování a pro výrobu methanu [Pastorek *et al.*, 2004].

Lignin je složitá směs různých polymerů. Jedná se o významnou součást dřeva stromů. Mezi důležité úlohy ligninu patří mechanické zpevnění buněčných stěn a vytváření kapilár, které jsou důležité pro život rostliny, jelikož vedou vodu a živiny. Lignin tvoří zhruba jednu třetinu celkové hmotnosti dřeva [Murtinger a Beranovský, 2008]. Kromě již zmíněného využití lignocelulóзовých materiálů pro spalování a výrobu methanu, jsou tyto materiály také vhodné pro výrobu biopaliv, jako je ethanol [Paulová *et al.*, 2010].

Pojem hemicelulózy zahrnuje množství různých polysacharidů. Ty tvoří společně s celulózou stěny buněk a podílejí se na vytváření mechanicky pevné struktury. Tyto polysacharidy jsou rozložitelné na monosacharidy lépe, než je tomu u celulózy. Z těchto jednodušších látek se dá získat velmi snadno ethanol procesem alkoholového kvašení.

Oleje jsou zásobní látky, které v rostlinách slouží k uložení energie. Nachází se v semenech rostlin, jelikož na začátku růstu rostliny slouží jako energetický zdroj. Jsou složeny z mastných kyselin a trojsytného alkoholu, glycerinu. Mezi hlavní pozitivní vlastnosti olejů patří jejich vysoká výhřevnost a také to, že jsou kapalné. Proto je lze používat jako palivo do motorových vozidel [Murtinger a Beranovský, 2008]. Mezi olejnaté plodiny patří například řepka, slunečnice a len [Pastorek *et al.*, 2004].

Další látkou, která slouží v rostlinách jako látka zásobní, je škrob. Tuto látku je možné nalézt převážně v semenech a hlízách rostlin. Je to polysacharid, který se skládá z glukózových jednotek, stejně jako celulóza. Hlavní rozdíl mezi škrobem a celulózou je ten, že škrob se dá snadno rozložit na jednoduché cukry. Tyto cukry lze poté kvašením přeměnit na ethanol [Murtinger a Beranovský, 2008], nebo methylalkohol (methanol). Energetické plodiny s vysokým obsahem škrobu a cukrů jsou například brambory, cukrová řepa a obiloviny [Pastorek *et al.*, 2004].

2.1.3 Využití biomasy k energetickým účelům

To, jakým způsobem bude rostlinná hmota využita pro energetické účely, je závislé především na obsahu vody v dané rostlině, dále na její struktuře a látkovém složení [Havlíčková *et al.*, 2008]. Nejdůležitějším parametrem je tedy vlhkost, resp. obsah sušiny v biomase. Hraniční hodnotou mezi mokrymi a suchými procesy při využívání biomasy je 50% obsahu sušiny. Mokrymi procesy se zpracovává biomasa s obsahem sušiny menším než 50%, zatímco suchými procesy je zpracovávána biomasa s obsahem sušiny větším než 50%.

Suché procesy pro využití biomasy (termochemická přeměna) zahrnují spalování, zplyňování a pyrolýzu. Spalování je možné charakterizovat jako chemický děj, ve kterém jsou hořlavé prvky, obsažené v hořlavině, slučovány s kyslíkem. Důsledkem tohoto procesu je uvolňování tepla. Ke zplyňování se nejvíce hodí palivové, či odpadní dřevo, nebo také sláma. Ve většině případů je dřevo zplyňováno za přítomnosti vzduchu [Pastorek *et al.*, 2004]. Jedná se o termochemickou přeměnu pevného, nebo kapalného materiálu na výhřevný energetický

plyn za účasti zplyňovacího média (vzduch, O₂, vodní pára) a tepla [Pohořelý a Jeremiáš, 2010]. Pyrolýzu je možné popsat jako termický rozklad organických látek na nízkomolekulární sloučeniny [Pastorek *et al.*, 2004] za nepřístupu médií obsahujících kyslík [Šejvl, 2013]. Ty lze dále použít k syntézním výrobám nebo jako topný olej a topný plyn.

Mezi mokré procesy pro energetické využití biomasy je možné zahrnout alkoholové a methanové kvašení [Pastorek *et al.*, 2004]. Mezi nejdůležitější faktory pro zpracování materiálu alkoholovým kvašením patří jeho rozložitelnost a vysoký obsah sacharidů. Obsažené cukry jsou postupně přeměňovány na produkt kvašení: alkohol [Slejška a Váňa, 2006]. Methanové kvašení se provádí v bioplynových stanicích a lze ho zjednodušeně popsat jako biologický rozklad organických látek v anaerobním prostředí (bez O₂). Vzniká biologicky stabilizovaný substrát a bioplyn s 55-70% methanu [Mužik a Kára, 2009].

Biomasu je možné přeměnit také mechanickými a chemickými procesy (fyzikální a chemická přeměna). Mezi mechanické procesy přeměny patří štípaní, drcení, briketování, peletování, lisování a mletí. Chemickým procesem přeměny biomasy je esterifikace surových bioolejů [Pastorek *et al.*, 2004]. Po esterifikaci rostlinných olejů ze zemědělských plodin vznikají kapalná biopaliva: biopaliva I. generace (bionafta) [Sladký, 2009].

Ze všech uvedených procesů využití biomasy k energetickým účelům převládá v praxi především přímé spalování jako suchý proces. Z mokrých procesů je dominantním anaerobní fermentace za vzniku bioplynu a z ostatních způsobů převládá výroba methylesterů kyselin bioolejů [Pastorek *et al.*, 2004]. Přehled výše zmíněných procesů pro zpracování biomasy k energetickým účelům je uveden v Tab. 1. V kapitole 4 jsou dále podrobněji popsány zmíněné nejpoužívanější technologie energetického využití biomasy.

Tab. 1 Způsoby využití biomasy pro energetické účely

Typ konverze biomasy	Způsob konverze biomasy	Energetický výstup	Odpadní materiál nebo druhotná surovina
termochemická konverze (suché procesy)	spalování	teplo vázané na nosič	popel
	zplyňování	generátorový plyn	dehtový olej, uhlíkaté palivo
	pyrolýza	generátorový plyn	dehtový olej, pevné hořlavé zbytky
biochemická konverze (mokré procesy)	anaerobní fermentace	bioplyn	fermentovaný substrát
fyzikálně-chemická konverze	esterifikace bioolejů	methylester biooleje	glycerin

Zdroj: Pastorek *et al.*, 2004

2.2 ENERGETICKÉ PLODINY

Pojmem energetické plodiny jsou souhrnně označovány rostliny, které jsou cíleně pěstovány pro účely energetického využití. Nejsou jimi tedy rostliny, které jsou pěstovány pro potravinářské nebo technické využití. V podstatě každá plodina v sobě skýtá energetický potenciál, ovšem prakticky je možné využít pouze takové plodiny, které mají vhodné vlastnosti pro energetické využití. Do těchto vlastností je možné zahrnout především vysokou účinnost při přeměně oxidu uhličitého na biomasu vlivem slunečního záření (tzn. vysoká primární produkce), dále nízké nároky na vodu a živiny a také vysokou odolnost proti chorobám a škůdcům [Murtinger a Beranovský, 2008]. Dále by ideální energetická plodina měla rychle růst, být odolná proti suchu, ve sklizených částech by měla mít co možná nejvyšší obsah dusíku a v neposlední řadě jsou pro pěstování vhodnější vytrvalé rostliny z důvodu úspory financí při procesu nového osetí [Havličková *et al.*, 2008]. Rozdělení nejčastěji pěstovaných energetických plodin v České republice podle délky jejich života (doby pěstování) a podle jejich následného energetického využití je uvedeno v Tab. 2. Podrobnější popis uvedených plodin je v následujících kapitolách. V Tab. 3 na straně 23 jsou uvedeny části vybraných rostlin využívané pro fytoenergetiku s příslušnými výnosy.

Tab. 2 Rozdělení vybraných energetických plodin pěstovaných v ČR

Energetická plodina	Délka života	Energetické využití
Konopí seté (<i>Cannabis sativa</i> L.)	jednoletá rostlina	přímé spalování, výroba methanolu, bioplynu, elektřiny a kapalných biopaliv
Triticale (<i>Triticosecale</i>)	jednoletá obilnina	přímé spalování, výroba bioplynu a ethanolu
Ovsík vyvýšený (<i>Arrhenatherum elatius</i> L.)	víceletá tráva	přímé spalování, výroba bioplynu
Topinambur hlíznatý (<i>Helianthus tuberosus</i> L.)	vytrvalá rostlina	přímé spalování, výroba bioethanolu a bioplynu
Šťovík krmný (<i>Rumex patientia</i> L. x <i>Rumex tianschanicus</i> A. Los.)	vytrvalá rostlina	přímé spalování, výroba bioplynu
Ozdobnice čínská (<i>Miscanthus sinensis</i> Anderss.)	vytrvalá tráva	přímé spalování, pyrolýza
Lesknice rákosovitá (<i>Phalaris arundinacea</i> L.)	vytrvalá tráva	přímé spalování, výroba bioplynu a elektřiny
Sveřep bezbranný (<i>Bromus inermis</i> Leyss.)	vytrvalá tráva	přímé spalování

Zdroj: Havličková *et al.*, 2008; Petříková *et al.*, 2006

2.2.1 Jednoleté rostliny

2.2.1.1 Konopí seté (*Cannabis sativa* L.)

Konopí se řadí mezi teplomilné jednoleté rostliny. U tohoto druhu se vyskytují jak samčí, tak samičí rostliny. Obvykle se v běžném porostu nachází přibližně 53% samčích a 47% samičích rostlin. Samci této rostliny jsou vyšší, štíhlejší, se světlejšími listy a jejich doba dozrání je o 4-6 týdnů kratší než v případě samičích rostlin. Ty jsou nižší, silnější a více olistěné. Kořenový systém rostlin konopí může dorůst do hloubky 30-40 cm. Průměrná nadzemní délka stonku jsou 2 metry. Stonek je na začátku růstu nejprve měkký a dužnatý, s postupem času odspodu dřevnatí. Porost konopí setého je zachycen na Obr. 2.

Jedná se o rostlinu, která je náročná na přísun vláhy i na půdu, ve které je pěstována. Je ovšem relativně imunní vůči různým nemocem a škůdcům. Na vodu je náročné převážně v první fázi růstu, poté dokáže snášet i přechodné sucho. Půdy, na kterých je nejvhodnější konopí pěstovat jsou hlinité a písčitohlinité. Vhodná půda by dále měla disponovat nízkou spodní vodou, být dobře vyhnojena a zásobena humusem. Konopí je rostlina citlivá na mráz, ovšem mladší rostliny dokážou snášet menší mrazíky. Lze ho pěstovat na územích s různou zeměpisnou šířkou, díky tomu, že je to velmi přizpůsobivá rostlina. Původně konopí pochází ze země Střední Asie.



Obr. 2 Rostliny konopí setého v období srpna s detailem sedmičetného listu.

Zdroj: <http://botany.cz/cs/cannabis-sativa/>

Konopí se využívá především v potravinářském průmyslu, dále je možné ho využít jako rostlinnou surovinu či pro energetické účely. Pro technické využití se používají takové odrůdy, ve kterých je v jakékoli části obsah THC (tetrahydrokanabinol) nižší než 0,3%.

Při pěstování je volena jako předplodina pro konopí taková rostlina, která by měla půdu zanechat čistou, kyprou a dobře zásobenou živinami. Vhodnými předplodinami jsou tedy okopaniny, kukuřice, jetel nebo například vojtěška. Ke svému růstu vyžaduje konopí dobře zásobenou půdu živinami. Hnojit je možné statkovými i průmyslovými hnojivy. Průmyslová hnojiva, zvláště P a K, je možné zaorat do půdy již při orbě a poté před setím. Tato průmyslová hnojiva mají největší vliv na výnos stonků a jakost vláken. Pokud je v půdě nízký obsah Ca, tak se na podzim, nebo už k předplodině zaorá vápenaté hnojivo, protože konopí vyžaduje neutrální až zásaditou reakci v půdě. Poté, co rostlina konopí vzejde, tak roste poměrně rychle, tudíž při správně založeném porostu je snížena šance na výskyt plevelů. Ovšem je možnost, že se v porostu prosadí dvouděložné plevely, na které lze aplikovat herbicid před setím, nebo hned po zasetí.

Sklizeň se provádí v době, kdy jsou semena samičích rostlin ve spodní polovině květenství plně zralá a semena v horní části jsou v mléčné zralosti. Pozdější sklizeň není doporučována, z důvodu vypadávání zralých semen. Získané semeno se dočistí a poté se dosouší na vlhkost pod 9%. Takto vyschlé semeno nepodléhá plísní a zapaření. Pro produkci stonků a vláken je konopí sklizeno v období plného květu samičích rostlin, nebo až v období, kdy začnou opadávat listy.

Konopná semena je možné použít v potravinářském a chemickém průmyslu, v lékařství i při výrobě kosmetiky. Semena v sobě obsahují konopný olej, vysoké množství bílkovin a jen nepatrné množství látky THC. Vyprodukovaná semena mohou dále sloužit jako osivo. Stonky je možné použít v textilním průmyslu a pro výrobu celulózy. Konopná vlákna lze využívat pro výrobu plachet, lan či provazů. Dalším odvětvím, kde lze konopí využívat je stavebnictví, kde slouží jako dobrý tepelný a zvukový izolační materiál. Stonky konopí je možné použít pro přímé spalování. Spalné teplo stonků je $18,06 \text{ GJ.t}^{-1}$, spalné teplo ze semene dosahuje hodnot $24,62 \text{ GJ.t}^{-1}$. Dalším způsobem energetického využití je například výroba kapalných biopaliv, methanolu, bioplynu a také elektřiny [Petříková *et al.*, 2006].

2.2.1.2 Triticale (*Triticosecale*)

Jedná se o jednoletou plodinu, která vznikla mezirodovým zkřížením pšenice a žita. Tato obilnina se vyznačuje poměrně vysokou produkcí nadzemní fytomasy. Její kořenový systém je bohatě rozvětvený. Dále je tato rostlina tvořena vysokým stéblem a klasem se zrny. Klasy zralého triticale jsou zobrazeny na Obr. 3.

Triticale je při svém pěstování méně náročné na podmínky okolního prostředí, ve srovnání s pšenicí, ale oproti žitu má nároky vyšší. Jedná se o zimovzdornou plodinu, která s výjimkou doby klíčení a vzcházení poměrně dobře snáší i nedostatek vláhy. Triticale je možné pěstovat i na kyselých půdách a v oblastech, se zvýšeným množstvím emisí, vůči kterým je poměrně imunní. Nejvyšší výnosy triticale dosahuje při použití předplodin, jako jsou olejnin, luskoviny a jeteloviny. Lze využít i obilniny, ale poté se vyskytuje vyšší riziko napadení rostlin houbovými chorobami. Pro ochranu triticale je možné používat herbicidy a fungicidy.

Přihnojování dusíkatými hnojivy se odvíjí od zvolené předplodiny, počasí a úrodnosti půdy, tedy od minimálního obsahu dusíku v půdě. Podzimní hnojení dusíkem při předseťové přípravě není doporučováno. Provádí se tedy především na jaře a je děleno na produkční a regenerační dávku. Z celkové dávky hnojení dusíkem je 40-50% dávka regenerační, která se aplikuje brzy na jaře v ledkové formě. Ve srovnání s tím, se produkční dávka aplikuje v kapalné formě a to ve fázi sloupkování.



Obr. 3 Rostliny triticale v období žluté zralosti.

Zdroj: <http://biom.cz/cz/obrazek/triticale>

Před pěstováním triticales by mělo dojít k minimálnímu předset'ovému zpracování půdy. Na to, jaký bude výnos z pěstovaného triticales má vyšší vliv příprava půdy, než použitá předplodina. Triticales je vhodné zasít v příznivých oblastech (bramborářské oblasti) v období druhé poloviny září až začátku října. Velmi důležité je založit správný porost. Porosty, které jsou vysety příliš hustě, nebudou tvořit vysoký výnos.

Včasná sklizeň je u triticales velice důležitá, jelikož u něj dochází k prorůstání zrna. V případě, že triticales přezraje, dochází také k vypadávání zrna z klasu, což vede ke ztrátám na úrodě. Když dozraje do žluté zralosti, sklízí se sklízecí mlátičkou. Při nepříznivém počasí, kdy je vlhko, je možné triticales sklidit a poté ho dosušit na vlhkost 14%, což je hodnota ideální pro uskladnění. Pokud se triticales sklízí za účelem použití na výrobu bioplynu, jeho vlhkost se pohybuje v rozmezí 75-90%. Sklizeň se provádí pomocí sklízecí řezačky a vzniklá řezanka z celých rostlin je použita na siláž. Pro přímé spalování se triticales sklízí v plné zralosti a využívá se sláma nebo celé rostliny. Při výrobě ethanolu z triticales je ideální, když má zrno vlhkost v rozmezí 13-18%.

Ze sklizeného triticales je možné využít pouze zrno, nebo i celé rostliny. Zrno je vhodné využít jako krmivo, osivo a pro výrobu ethanolu. Celé rostliny triticales je možné použít buď jako čerstvou píci pro zkrmení hospodářskými zvířaty, pro přímé spalování nebo pro výrobu bioplynu a následně získání energie. K přímému spalování lze také využít pouze zrno, či slámu. V závislosti na podmínkách a odrůdě se spalné teplo slámy pohybuje v rozmezí 16-19 GJ.t⁻¹. Některé odrůdy triticales jsou producenty největší množství celkové nadzemní fytomasy ze skupiny úzkořádkových obilnin. Proto je vhodné tyto rostliny využívat za účelem získání energie, převážně při spalování [Havličková *et al.*, 2008].

2.2.2 Víceleté a vytrvalé rostliny

2.2.2.1 Topinambur hlíznatý (*Helianthus tuberosus* L.)

Jedná se o vytrvalou rostlinu, která obvykle dosahuje výšky 50-250 cm. Rostlina je tvořena nepravidelnou hlízou, jejíž slupka má bílou, nebo červenou barvu, dále přímou lodyhou se vstřícnými listy. Topinambur kvete v období září a října žlutými květy. Rostliny v tomto stádiu jsou zobrazeny na Obr. 4. Tato plodina skýtá potenciál pro využití v píceinářství, potravinářství nebo jako alternativní energetický zdroj. Původně pochází ze Severní Ameriky.



Obr. 4 Rostlina topinamburu hlíznatého v období květenství s detailem květu.

Zdroj: <http://botany.cz/cs/helianthus-tuberosus/>

Topinambur se vyznačuje delší vegetační dobou, která se pohybuje mezi 4 až 8 měsíci. Pěstuje se hlavně pro hlízy, ve kterých je obsaženo velké množství polysacharidu inulinu. Obsah inulinu v hlízách se pohybuje mezi 13-20%. Dále jsou v hlízách obsaženy sacharidy fruktóza a glukóza a také vláknina. Hlízy topinamburu jsou velmi odolné proti mrazům, vydrží teploty až do -30°C .

Topinambur je možné pěstovat buď jako jednoletou plodinu nebo plodinu na více let. Při jednoletém pěstování topinamburu musí být sklizeň provedena po konci vegetace, ještě v podzimních měsících, protože půda musí být upravena a připravena pro zasetí plodiny, která následuje v osevním postupu. Podzimní sklizeň je náročnější, než sklizeň na jaře a to hlavně kvůli tomu, že hlízy i kořeny vytvoří s půdou kompaktní bal, který je poté obtížné sklídit sklizňovou mechanizací. Nevýhodou při tomto pěstování je zaplevelení plodiny následující v osevním postupu po topinamburu. Proto je doporučeno po topinamburu pěstovat například krmné okopaniny, aby mohly být likvidovány rostliny a hlízy, které obrůstají.

Jedná se o plodinu, která je schopná růst v podstatě na všech půdách. Je možné ho pěstovat například i na lesních půdách, nebo na půdách, které nelze dočasně využít pro pěstování zemědělských plodin. Jako hnojivo je možné použít organická i průmyslová hnojiva. Nejčastěji používanými organickými hnojivy jsou: chlévská mrva, kejda skotu a prasat. Také je možné použít stabilizované kaly, které pochází z čistíren odpadních vod. Aplikace

průmyslových hnojiv (P a K) je určována množstvím živin v půdě nebo například zvolenou předplodinou. Tato hnojiva jsou aplikována před zimní hlubokou orbou. Po smykování a vláčení, které se provádí v jarních měsících, je možné aplikovat také dusíkatá hnojiva.

Choroby a škůdci napadají topinambur jen minimálně. Druhotné zaplevelení, které je známé například u brambor, tato plodina úplně potlačuje díky svému vysokému porostu. Porosty topinamburu je ovšem možné ošetřovat herbicidy. Po aplikaci herbicidů se ještě před vysazením hlíz řádky zahrnují. Na těžkých půdách při pěstování topinamburu na více let je možné napadení hlíz houbou, tzv. hlízenkou obecnou.

Topinambur lze sklízet jak na podzim, tak i na jaře. Zelená nadzemní hmota, kterou je možné dále využít pro krmení nebo silážování, se sklízí jednou až dvakrát ročně. První sklizeň se provádí na začátku července a druhá poté v říjnu. Hlízy topinamburu se sklízí obdobně jako ty bramborové. Nejlepší mechanizací je dvouřádkový vyorávač s ručním sběrem hlíz. Ruční sběr hlíz se provádí kvůli jejich křehkosti a snadnému poškození. Při sklizni topinamburu na konci listopadu má rostlina výhodný poměr fruktózy a glukózy, a také nejvyšší obsah inulinu. Při skladování je nutné přihlížet k faktu, že hlízy topinamburu podléhají snadnému vysychání a není tedy doporučováno, za běžných podmínek, jejich skladování na dobu delší než 14 dní. Kvůli tomu, že je topinambur špatně skladovatelný, jsou za doporučený termín sklizně sadbových hlíz považovány spíše jarní měsíce.

Surové hlízy topinamburu jsou vhodné pro využívání v potravinářském průmyslu přímo ke konzumaci nebo pro výrobu sirobu, což je dia sladidlo. Dále je možné hlízy využívat jako krmivo pro hospodářská a lesní zvířata. Samozřejmostí je využití hlíz jako sadby pro reprodukci plodiny. Dalším využitím hlíz je výroba bioethanolu. Před samotnou výrobou bioethanolu pomocí kvasinek je potřeba vstupní materiál zpracovat za pomoci kyselé, či enzymatické hydrolyzy. Při této předúpravě je přítomný inulin rozštěpen na jednoduché cukry, které jsou dále zkvasitelné. Pro energetické účely je možné využít také suchou nat' k výrobě bioplynu či jako palivo pro přímé spalování. Hodnoty jejího spalného tepla se pohybují okolo $16,38 \text{ GJ.t}^{-1}$ [Petříková *et al.*, 2006].

2.2.2.2 Šťovík krmný (*Rumex patientia* L. x *Rumex tianschanicus* A. Los.)

Tzv. energetický šťovík (šťovík Uteuša) je v podmínkách mírného pásma jednou z nejperspektivnějších energetických plodin. Jedná se o rostlinu, která vznikla křížením šťovíku zahradního a šťovíku t'anshanského. Kořen rostliny je rozvětvený a dorůstá do hloubky 1,5-2 m. Rostlina šťovíku dosahuje průměrné výšky okolo 235 cm. Je tvořena rovným stonkem s listy umístěnými ve spirále a květenstvím (latou). Šťovík kvete drobnými růžovými květy a vytváří plody se semeny.

Jedná se o trvalou, vysoce plodící a také velmi ranou rostlinu, která obrůstá již v březnu. Šťovík je odolnou rostlinou proti napadení škůdci a proti nemocem. Výjimečně můžou být napadeny jeho listy ve vlhkém klimatu. Tato rostlina neklade vysoké nároky na půdní podmínky, proto ji lze pěstovat na většině zemědělských půd. Po zasetí plodina vydrží na stejném stanovišti přibližně 15-20 let. Navíc je také odolná proti vymrzání. Z tohoto důvodu je vhodné energetický šťovík pěstovat v podmínkách střední a severní Evropy.

Při pěstování šťovíku se jako vhodné předplodiny používají veškeré pícniny, okopaniny a obilniny [Petříková *et al.*, 2006]. Před setím je důležité zbavit půdu plevelu a upravit ji tak, aby došlo k vytvoření vhodné půdní struktury s utuženým seťovým lůžkem. Další důležitou operací je důkladné urovnání pozemku, aby bylo možné provést mělké setí. Vysévání šťovíku je realizováno běžnými secími stroji. Po dokončení setí je dobré, když se pozemek znovu uválí vrubovým válcem [Petříková, 2005]. Šťovík je plodina, kterou je možno sít v období od dubna do července ovšem pouze za vhodné vlhkosti půdy.

Hnojení rostliny je doporučováno pouze při založení podrostu, v dalších letech již není potřeba dalšího hnojení, zejména na půdách s dostatkem živin a ve vlhkých letech. Vyšší dávky hnojiv spolu s herbicidy proti trávovitým plevelům je vhodné použít v suchých letech. Šťovík je možné hnojit organickými i minerálními hnojivy, popřípadě v kombinaci s kaly.

Výhodou při pěstování šťovíku je jeho brzké dozrávání. Pokud je šťovík sklizen jako krmná plodina, první seč lze provést již koncem dubna, kdy je tato rostlina již zralá a obsahuje vysoké procento surového proteinu. Jako jednu z mála energetických plodin lze šťovík sklízet v červenci, kdy se nachází již v suchém stavu, tedy do 25% obsahu vlhkosti. Šťovík krmný v období před sklizní je zobrazen na Obr. 5. Sklizená biomasa může být použita jako biopalivo a svou kvalitou je blízká dřevní štěpce. Pro tento účel je šťovík sklizen jednou ročně. Pro sklizeň je využívána běžná zemědělská technika.



Obr. 5 Zralý porost š'ovíku krmného připravený ke sklizni (polovina srpna).

Zdroj: <http://biom.cz/cz/obrazek/prezraly-stovik-pred-sklizni-dne-1482009>

Likvidaci porostu je možné provést kombinací mechanických a chemických postupů. Mezi mechanické postupy patří především zaorání, které se provádí v době po sklizni za pomoci pluhu s předradličkou. Naopak chemické postupy se provádějí pomocí chemických prostředků během intenzivního vegetačního období, kdy rostlina tyto látky efektivně přijme. To má za následek zvýšení účinnosti těchto přípravků [Petříková *et al.*, 2006].

Pro účely přímého spalování je sklizena celá nadzemní část plodiny i se semeny. Tato sklizeň je prováděna těsně před plným dozráním, a to z důvodu, aby při sklizni nevypadala semena z rostliny. Ty zvyšují její energetický obsah. Při pěstování š'ovíku za účelem přímého spalování je vhodné provést jen jednu sklizeň ročně. V případě sklizně silážní rezačkou vzniká řezanka. Tu je možné použít ke spalování podobně jako dřevní štěpku. Další možností je slisování posečené hmoty do balíků, které lze spalovat jako balíky slámy. Použití nalezne také ve formě biobriket a drobných peletek. Spalné teplo suché fytohmoty š'ovíku dosahuje hodnoty $17,5 \text{ GJ.t}^{-1}$. Š'ovík krmný je charakteristický intenzivním obrůstáním, které nastává brzy na jaře a na podzim po sklizni. Díky tomu, lze tuto plodinu sklízet kombinovaně i v průběhu roku. To je vhodné provádět tam, kde budou obě sklizně plně využity, například pro krmení a jako zdroj fytohmoty pro následnou výrobu bioplynu [Petříková, 2005].

2.2.3 Energetické trávy

2.2.3.1 Ozdobnice čínská (*Miscanthus sinensis* Anders.)

Tato plodina patří mezi vytrvalé trávy vysokého vzrůstu. Ozdobnice původně pochází ze země východní Asie, odkud byla přivezena do Evropy. V dnešní době se ozdobnice využívá nejen jako okrasná rostlina, ale také jako alternativní zdroj obnovitelné energie a jako surovina pro průmysl [Petříková *et al.*, 2006].

Při pěstování ozdobnice v příznivých podmínkách dosahuje vysokých výnosů sušiny. Jedná se o plodinu, která je schopna dobře využívat sluneční energii, živiny v půdě a vodu. Je také odolná proti množství chorob a proti škůdcům. Při zaplevelení porostu je možné použít herbicidy. Tyto látky by měly být aplikovány v rané fázi růstu plevelů. Mezi vhodné půdy, ve kterých je dobré ozdobnici pěstovat, patří písčité půdy s vysokou hladinou podzemní vody a s téměř nulovým zaplevelením (pýr, šťovíky) [Havličková *et al.*, 2008]. Vyšší nároky má ozdobnice na klimatické podmínky. Pro vysoké výnosy fytomasy ozdobnice potřebuje velké množství srážek a během vegetačního období také vyšší teploty [Petříková *et al.*, 2006].

Nároky na výběr předplodiny nejsou u ozdobnice vysoké. Je jí možné pěstovat po cukrové řepě, bramborách a různých druzích obilovin nebo například po luskovinách. Jelikož je ozdobnice vytrvalou rostlinou, její porost by měl být zakládán minimálně na dobu 10-15 let. Ukázka sedmiletého porostu ozdobnice čínské v měsíci září je na Obr. 6.

Při hnojení je důležité vycházet z faktu, jak dobře je půda, ve které plodina roste, zásobena živinami. V půdách, které jsou chudší na obsah živin, se v prvním roce růstu hnojí dusíkem. V dalších letech už je nutné vycházet z obsahu živin v půdě. V případě potřeby je doporučováno ozdobnici hnojit draslíkem, fosforem a dusíkem ideálně na jaře.

Před setím ozdobnice je doporučeno provést hlubokou orbu, podmítku s rozmělněním posklizňových zbytků a přípravu setového lůžka. K výsevu jsou nejvhodnější takové sazenice, které už přečkaly jedno zimní období. Vysazované sazenice jsou nejčastěji z odkopků. Ozdobnice patří k plodinám, u kterých se vyskytuje riziko vymrznutí. Mezi možnosti, jak ochránit tuto plodinu před vymrznutím v prvním roce výsadby patří přikrytí založeného porostu slámou nebo vysetí hořčice bílé do mezířádků [Havličková *et al.*, 2008]. Výsadba by měla proběhnout v termínu od poloviny května do poloviny července, kdy teplota

půdy dosahuje teplot vyšších než 10°C [Petříková *et al.*, 2006]. Při samotné výsadbě je potřeba kořenové baly navlhčit a poté porost pravidelně zavlažovat.



Obr. 6 Ozdobnice čínská v sedmém roce růstu.

Zdroj: <http://biom.cz/cz/obrazek/ozdobnice-miscanthus-x-giganteus-sedmiletý-porost-v-zari>

Ke sklizni je možné použít řezačky na kukuřici. Ze slámy vzniklé při sklizni lze lisovat pelety [Havličková *et al.*, 2008]. Při sklizni v podzimních měsících je nutné získanou fytomasu dosušet, protože v tomto období má průměrný obsah vody kolem 50% [Petříková *et al.*, 2006]. Tato plodina není ve svém prvním roce růstu sklizena. Ke sklizni dochází až ve druhém roce růstu [Havličková *et al.*, 2008]. Při únorové sklizni ve třetím roce po výsadbě se vlhkost pohybuje v průměru okolo 24%. Z dostupných údajů tedy zatím vyplývá, že je lepší ozdobnici sklízet v jarním období.

Likvidaci porostu ozdobnice je možné provést několika způsoby. Jedním ze způsobů je likvidace pomocí chemických přípravků, která by měla být prováděna v jarních měsících. V tomto případě ovšem existuje možnost dalšího obražení rostliny. Poté je nutné provést druhou aplikaci přípravku, která zapříčiní celkový úhyn plodiny. Dalším způsobem, jak likvidovat porost ozdobnice, je vyoraní plodiny na povrch, které je prováděno na podzim. To má za následek její umrznutí přes zimní období [Petříková *et al.*, 2006].

Sklizená plodina se používá především pro přímé spalování nebo pyrolýzu. Spalné teplo ze sušiny, které je možné využít, dosahuje až 17,97 GJ.t⁻¹. Dále je možné tuto plodinu využít pro výrobu buničiny nebo jako stavební materiál (výroba dřevovláknitých desek, rohoží a došků).

Ozdobnice čínská není běžně pěstovaná plodina pro výrobu bioplynu. Jako výhoda se jeví fakt, že tato plodina je schopna dosahovat každým rokem vysokých výnosů sušiny, proto se jeví jako perspektivní rostlina pro energetické využití [Havlíčková *et al.*, 2008].

2.2.3.2 Ovsík vyvýšený (*Arrhenatherum elatius* L.)

Jedná se o rostlinu, která se řadí mezi víceleté, volně trsnaté trávy [Havlíčková *et al.*, 2008]. Stéblo může dorůstat do výšky až 150 cm. Listy ovsíku jsou široké, dlouhé a typicky převislé. Lata je delší a obsahuje osinatá semena. Typický porost ovsíku vyvýšeného je zobrazen na Obr. 7. Kořenový systém této plodiny je rozvětvený a proniká hluboko do půdy [Petříková *et al.*, 2006]. Většina kořenů se vyskytuje v hloubce 5-30 cm. Tento systém kořenů umožňuje rostlině čerpat potřebné živiny a vláhu i z hlubších vrstev půdy [Havlíčková *et al.*, 2008]. Tradičně je ovsík využíván jako pícnina, ale má také vhodné předpoklady pro použití v energetice.



Obr. 7 Typický porost ovsíku vyvýšeného a lata rostliny s osinatými semeny.

Zdroj: http://botanika.wendys.cz/images/stories/744/O744_5.jpg

<http://botanika.wendys.cz/images/stories/744/O744.jpg>

Oblasti vhodné pro pěstování ovsíku jsou mírnějšího klimatu [Petříková *et al.*, 2006]. Ovsík je nenáročný na vláhu, ovšem má vyšší nároky na množství živin. Při pěstování na stanovištích, která jsou pro ovsík příznivá, produkuje vysoké množství biomasy. Ovsík vyvýšený je možné pěstovat na sušších a středně vlhkých stanovištích. Je to plodina, která dokáže dobře hospodařit s vláhou a živinami, tudíž je u ní možné očekávat vysoké výnosy

i v sušších letech. Pro jeho pěstování jsou vhodné půdy středně těžké a lehčí, výhodná jsou také teplá stanoviště. Je doporučeno ovsík vysévat jako monokulturu. Tato plodina je nenáročná na použitou předplodinu, kterou mohou být okopaniny, luskoviny, jeteloviny i ozimá řepka. Porosty ovsíku jsou zakládány na jaře [Havlíčková *et al.*, 2008]. Ovsík poté vydrží na stejném stanovišti až 5 let [Petříková *et al.*, 2006].

Pro náročnost ovsíku na živiny se při hnojení minerálními hnojivy využívají vyšší dávky. Při potřebě zvýšení výnosu je vhodné hnojit dusíkem. Dále je možné přihnojovat fosforem i draslíkem převážně na podzim, což napomáhá tvorbě fertilních odnoží a stébel.

Jedná se o travu, kterou je možné sklízet 1-4krát ročně. Zralý ovsík je sklizen pro semenářské účely sklízecí mlátičkou v období od počátku července [Havlíčková *et al.*, 2008]. Pro energetické účely je sklizena veškerá nadzemní hmota žacími stroji. Sklizeň je vhodné začít před plným dozráním, aby se předešlo vypadávání semen a zamezilo se ztrátám na biomase [Petříková *et al.*, 2006]. Pro výrobu bioplynu je vhodné ovsík sklízet 2-3krát ročně. Ovsík je možné sklízet i za účelem přímého spalování, ovšem k tomuto využití je méně vhodný. Termín sklizně ovsíku vyvýšeného za účelem přímého spalování je srpen až začátek září. Lze ho sklízet i po zimních měsících, ovšem je zde riziko nižších výnosů díky poléhání pod sněhem. V této době však biomasa obsahuje méně vody a méně živin, což je výhodnější.

Semena ovsíku vyvýšeného mohou být použita znovu jako osivo. Sklizené celé rostliny je možné využít jako píci, seno nebo siláž. Dále je možné využití rostliny pro energetické účely, buď pro přímé spalování, kdy je možné spalovat pouze listy nebo celé rostliny, nebo pro výrobu bioplynu. Tento způsob se jeví jako nejlepší pro energetické využití, díky dobrému olistění rostlin a vyššímu obsahu živin.

Čerstvě posečená biomasa ovsíku obsahuje 75-83% vody a 17-25% sušiny. Před tím, než je možné biomasu ovsíku použít pro přímé spalování, je nutné ji dosoušet. K dosoušení dochází buď přímo na poli, nebo za nepříznivého počasí v sušárnách. Při dosoušení v sušících zařízeních dochází k významnému navýšení nákladů, které se promítnou v celkové ekonomice pěstování ovsíku. Spalné teplo suché nadzemní části ovsíku se pohybuje okolo hodnoty 17,25 GJ.t⁻¹ [Havlíčková *et al.*, 2008].

2.2.3.3 Lesknice rákosovitá (*Phalaris arundinacea* L.)

Lesknice rákosovitá, někdy nazývaná jako Chrastice rákosovitá (*Baldingera arundinacea* L.) je vytrvalá tráva, která je rozšířena téměř po celé Evropě, Severní Americe a Asii. Řadí se mezi nejvyšší trávy rostoucí v naší republice. Výška stébla může přesáhnout i 2 m. Přímá a mohutná stébla má zakončena latou. Její listy jsou dlouhé a široké. Celá rostlina, v detailu i s latou, je zobrazena na Obr. 8. Těsně pod povrchem půdy vytváří bohatý systém dlouhých oddenků. Její kořenový systém je mohutný a sahá do velké hloubky. Jedná se o rostlinu, která na jaře obrůstá časně a její růst je velmi rychlý [Havlíčková *et al.*, 2008]. Lesknice je plodinou, která slouží především jako zdroj pro výrobu buničiny či jako zdroj energetický [Petříková *et al.*, 2006].



Obr. 8 Vzrostlá lesknice rákosovitá na začátku června s detailním záběrem laty.

Zdroj: <http://botany.cz/cs/phalaris-arundinacea/>

Tato plodina patří mezi trávy, které mají vysoké nároky na vláhu a živiny. Při pěstování na vhodných stanovištích je možné očekávat vysoké výnosy. Vhodným stanovištěm pro pěstování je například okolí vodního toku. Nejvhodnějšími půdami jsou pro ni půdy těžké a dobře zásobené živinami. Neuškodí jí jarní mrazíky, krátkodobé zavodnění, či naopak delší období sucha. Jedná se o rostlinu s vysokou odolností proti drsným klimatickým podmínkám. Lesknice je při svém pěstování nenáročná na výběr předplodiny, nejvhodnější je však zasít lesknici po obilninách, nebo luskoobilných směskách. Porost je zakládán obvykle na nezapleveleném místě v období časného jara, nebo na podzim. Při dobře založeném porostu je možné lesknici pěstovat na stejném stanovišti několik let bez rizika snížení obsahu fytomasy.

Lesknici sklizenou na jaře je možné přihnojovat dusíkem, draslíkem a fosforem v závislosti na daných půdních podmínkách. K přihnojování je nejlepší doba na jaře před vegetací a provádí se obvykle od druhého roku stáří rostliny. Tato plodina není náchylná na choroby ani škůdce a v případě zaplevelení je možné použít běžné herbicidy.

Rostliny určené pro průmyslové využití se obvykle sklízí až od druhého roku stáří. Pro účely energetického využití je důležitý termín sklizně, od kterého se odvíjí i obsah vody v rostlině. K nejvyššímu nárůstu fytomasy dochází pozdě na podzim nebo brzy na jaře. Sklizeň probíhá většinou na jaře a posečený porost je lisován do balíků. Pokud má být lesknice využita k energetickým účelům (přímé spalování), je vhodné sklizeň provádět po zimě, brzy na jaře. To s sebou nese několik výhod. Mezi ně patří to, že v tomto období má lesknice nízký obsah vody, pouze 12-20%. Dalším důvodem je množství živin, které je na jaře poloviční než například v srpnu. Při potřebě využití lesknice jako zdroje pro přímé spalování se musí ještě dosoušet. K dosoušení je možné využít příznivého počasí, kdy se nechá ležet rostlina po posečení na poli, nebo je možné ji dosušit v sušících zařízeních. Pokud má být sklizená lesknice využita pro výrobu bioplynu, je doporučeno ji sklízet v období, kdy je obsah sušiny menší než 35%. Sklizeň může být provedena 2-3krát ročně, v období pozdě na podzim (obsah vody 60-80%) a brzy na jaře (obsah vody 30-70%). Fytomasa s tímto množstvím vody je vhodná pouze pro výrobu bioplynu.

Semena lesknice se využívají jako osivo. Při sklizni celých rostlin lesknice je možné ji využít jako krmivo pro hospodářská zvířata ve formě čerstvé píce, sena nebo siláže. Z hlediska energetiky se celá plodina či listy využívají při přímém spalování v kotlích, nebo také ve formě pelet a briket. Dále je možné celou plodinu použít při výrobě bioplynu a elektřiny. Při přímém spalování se ze sušiny nadzemní části rostliny získá spalné teplo v hodnotě $17,52 \text{ GJ.t}^{-1}$ [Havličková *et al.*, 2008].

2.2.3.4 Sveřep bezbranný (*Bromus inermis* Leyss.)

Sveřep bezbranný (Obr. 9) je vytrvalá výběžkatá tráva, která je charakteristická svým vysokým vzrůstem. Stébla s velkým množstvím listů světle zelené barvy dorůstají do výšky 120 cm. Vytváří dlouhé podzemní výběžky, které dosahují hloubky až 20 cm. Květy se u sveřepu začínají objevovat v průběhu června. V současnosti je využíván především jako krmivo nebo pro účely energetické.



Obr. 9 Sveřep bezbranný s detailem květenství.

Zdroj: <http://newfs.s3.amazonaws.com/taxon-images-1000s1000/Poaceae/bromus-inermis-ha-rvid.jpg>

http://www.agroatlas.ru/content/related/Bromopsis_inermis/Bromopsis_inermis.jpg

Schopnost růstu této plodiny je možné přirovnat k žitu a tak lze počítat s vysokými výnosy nadzemní hmoty. Vhodnými stanovišti pro pěstování sveřepu jsou lokality, které se vyznačují sušším podnebím a nepříliš vysokou hladinou spodních vod. Půdami, ve kterých se této plodině dobře daří, jsou půdy hlubší a obsahující vyšší množství živin. Jelikož disponuje velmi rozvinutým kořenovým systémem, dokáže snést i značný přísušek. Ve vhodných podmínkách dokáže snést i holomrazy, nebo dlouho ležící sněh.

Předplodiny, které se hodí ke sveřepu, by měly být voleny z řad těch, které jsou charakteristické nízkým odběrem živin z půdy. Vhodnou předplodinou je tak například řepka, nebo i brambory. Před zakládáním porostu je důležité důkladné odplevelení půdy. Setí se provádí na jaře a to do krycí plodiny, kterou je obvykle jarní pšenice. Poté je vhodné pozemek uválet vrubovým válcem. Sveřep je rostlinou odolnou proti chorobám a škůdcům, takže ošetření fungicidy ani insekticidy není nutné. Při vzcházejícím porostu a v podzimním období je vhodné ošetření herbicidy, které je možné použít i v dalších užitkových letech podle potřeby a stavu daného porostu.

Před samotným hnojením je důležité zjistit stav živin v půdě a podle toho upravit hnojící dávky. Hnojení by mělo být provedeno ihned poté, co je sklizena krycí plodina. V dalších užitkových letech je poté doporučeno přihnojování dusíkem vždy v období po hlavní sklizni. Přihnojování P a K se řídí aktuálním stavem obsahu těchto prvků v dané půdě.

Sklizeň sveřepu se provádí v závislosti na tom, za jakým účelem je pěstován. Například sklizeň na pící ke krmení zvířat se provádí v době metání, kdy má porost dobrou krmnou kvalitu. Poté rychle stárne. Pro účely semenářské se sklízí v plné zralosti, která nastává na konci července. V této době se již semeno dobře uvolňuje z laty. Sklizeň pro energetické účely probíhá formou sklizně celé nadzemní hmoty i se semenem v období, kdy je plodina již téměř plně dozralá, aby bylo dosaženo co nejsušší biomasy. Sklizeň je možné provádět běžnou zemědělskou mechanizací, která porost poseče na řady a poté je možné posečenou hmotu slisovat do balíků, nebo sebrat sklízecí řezačkou. Balíky se hodí pro transport na delší vzdálenosti, řezanku je vhodné dělat tam, kde je předpoklad využití v biokotelně, která se nachází v dosahu sklizené plochy.

Sveřep je možné využít několika způsoby, a to jako pící pro hospodářská zvířata, pro semenářské účely a pro účely fytoenergetického využití. Pro fytoenergetiku je vhodný především při přímém spalování, protože má vhodné složení popela. To se projeví tím, že při spalování v kotli se snižuje riziko spékání popela. Využití sveřepu pro přímé spalování je možné buď formou kulatých či hranatých balíků, nebo topných peletek. Ty je vhodné využívat jako formu pro automatické přikládání do kotlů a kamen [Petříková *et al.*, 2006]. Průměrné hodnoty výnosů využívaných částí vybraných plodin jsou uvedeny v Tab. 3.

Tab. 3 Přehled využívaných částí rostlin pro energetiku a jejich průměrné výnosy

Energetická plodina	Energeticky využívaná část rostliny	Průměrné výnosy [t.ha ⁻¹]
Konopí seté (<i>Cannabis sativa</i> L.)	nadzemní fytomasa	9,003 (sušina)
	stonky	5-7
	semena	0,8-1,4
Triticale (<i>Triticosecale</i>)	nadzemní fytomasa	10-12 (suchá biomasa)
	sláma	-
	zrno	7,7-8,8
Topinambur hlíznatý (<i>Helianthus tuberosus</i> L.)	nadzemní fytomasa	35-100 (zelená hmota)
	hlízy	15-30
Šťovík krmný (<i>Rumex patientia</i> L. x <i>Rumex tianschanicus</i> A. Los.)	nadzemní fytomasa	8-12 (suchá biomasa)
Ozdobnice čínská (<i>Miscanthus sinensis</i> Anderss.)	nadzemní fytomasa	20-25 (sušina, 3-letý porost)
Ovsík vyvýšený (<i>Arrhenatherum elatius</i> L.)	nadzemní fytomasa	7-9 (suchá fytomasa)
Lesknice rákosovitá (<i>Phalaris arundinacea</i> L.)	nadzemní fytomasa	5,3-12,6 (sušina, 3-letý porost)
Sveřep bezbranný (<i>Bromus inermis</i> Leyss.)	nadzemní fytomasa	10-15 (nadzemní hmota)

Zdroj: Havlíčková *et al.*, 2008; Petříková, 2005; Petříková *et al.*, 2006

2.3 RYCHLEROSTOUCÍ ENERGETICKÉ DŘEVINY

Jedním ze způsobů, jak efektivně využít přebytečnou zemědělskou půdu, pro kterou by nebylo lepšího využití, je zakládání plantáží rychlerostoucích dřevin s krátkou obmýtní dobou [Pastorek *et al.*, 2004]. Tyto plantáže skýtají výhodu v tom, že se dají sklízet několikrát po sobě v rozmezí 3-7 let, bez nutnosti další výsadby. Produktem, který je získáván z těchto plantáží, je dřevní biomasa (dendromasa), která je využívána převážně jako palivo. Ověřenými zástupci rychlerostoucích dřevin v ČR jsou topoly a vrby. Perspektivními dřevinami se dále jeví trnité růže, olše, lípy, lísky a jeřáby [Weger a Havlíčková, 2002].

Vhodnými oblastmi pro pěstování rychle rostoucích dřevin jsou oblasti s mírným podnebím. Nejlépe se jim daří na půdách, které jsou dobře zásobené vodou a živinami [Pastorek *et al.*, 2004]. Dále Pastorek *et al.* [2004] definují požadavky na orné půdy pro pěstování rychlerostoucích dřevin takto: vysoká hladina spodní vody (60-120 cm), hodnota pH minimálně 5,5, mocnost ornice optimálně 70 cm a pozemek vhodný pro mechanizační zpracování. Mezi požadavky na rychle rostoucí dřeviny patří: extrémně vysoký vzrůst dřevin v mládí, výborné obrůstací schopnosti pařezů po obmýtí, snášenlivost konkurence bez regulovatelných zásahů a odolnost proti škůdcům a chorobám.

Na množství hmoty, které je možné získat z plantáží s různou obmýtní dobou, má vliv mnoho faktorů. Mezi faktory, které výnosy ovlivňují nejvíce, patří: druh dřeviny, kvalita půdy, stanoviště, na kterém je založena plantáž, množství vody, délka obmýtí a také kvalita ošetřování dané plantáže [Pastorek *et al.*, 2004]. Přehled nejčastěji pěstovaných druhů rychlerostoucích dřevin je v následující kapitole.

2.3.1 Topoly a vrby (rody *Populus* a *Salix*)

Topoly a vrby jsou listnaté dřeviny, které nejsou obvykle náročné na půdu, ale naopak jsou náročné na přísun podzemní nebo srážkové vody. Jejich květenství má tvar jehnědy. U topolů roste jehněda převisle a u vrb vzpřímeně. Semena obou těchto dřevin jsou v přírodě šířena větrem. Topoly a vrby, které jsou pěstovány výmladkovým způsobem, začínají kvést po 2-5 letech. Dřevo topolů má světlou barvu, je lehké a měkké, tudíž se dobře štípe. Vrbové dřevo je velice podobné topolovému, ale je mnohem houževnatější.

Vhodné stanoviště obou těchto dřevin by mělo splňovat hlavní podmínku, kterou je dostatek vody v okolí jejich kořenového systému. Kořenové systémy vrby i topolů jsou schopny získávat vodu a živiny z mnohem hlubších vrstev půdy, než je tomu například u zemědělských plodin, tudíž jejich nároky na živiny obsažené v ornici jsou mnohem nižší. Pro některé druhy topolů a zvláště pro vrby není problém snášet dočasné zaplavení. Ovšem na stanovištích, které jsou zamokřeny po delší dobu, nebo se na nich vyskytuje stojatá voda, se nedaří ani nejodolnějším druhům topolů a vrby. Vybrané klony dřevin lze pěstovat i v oblastech, ve kterých je průměrný přísun srážek, ale je dobře dostupná hladina podzemní vody. Mezi ně patří topol černý a topol Simonův. Pro oba tyto klony jsou přirozeným prostředím stepní oblasti. Topoly i vrby jsou světlomilné, takže se jim nedaří na stanovištích, která jsou trvaleji zastíněna. Výsledkem trvalejšího zastínění je pomalý růst a nižší výnosy.

Pozemek, na kterém budou cíleně pěstovány vrby a topoly, by měl být před samotnou výsadbou připraven tak, aby zajišťoval optimální podmínky pro první měsíce růstu dřevin. Mělo by dojít k co možná největšímu omezení růstu různých plevelů. Na půdách, které byly celkově zapleveleny, by mělo v závislosti na druzích plevelů a zvolené technologii pro jejich odstranění, dojít k zahájení odplevelovacích procesů již 1,5-2 roky před výsadbou dřevin. Podzimní orba by měla být provedena takovým způsobem, aby v jarních měsících nemusel být pozemek již znovu orán, ale pouze upraven například kultivátorem nebo vyrovnán.

Nejčastějším způsobem výsadby klonů vrby a topolů je sadba řízků, které jsou získány z jednoletých prutů dřevin. Řízky je potřeba skladovat tam, kde jim budou poskytnuty optimální podmínky, jako teplota v rozmezí 2-4°C a vysoká vlhkost vzduchu. Před tím, než jsou řízky vysazeny do půdy, je potřeba je namočit na 2 dny do vody. Teplota vody by měla odpovídat venkovní teplotě. Obvyklým termínem, kdy dochází k výsadbě řízků, je polovina března až konec dubna. Výsadbu je možné provádět ručně, nebo mechanizovaně. Při ručním sázení se řízky zapichují do země tak, aby nad povrch vyčnívaly přibližně 3 centimetry řízku. Mechanizační sázení závisí na typu sázecího stroje. Výsadba je prováděna podobně jako u lesních sazenic. Ukázka vzrostlých plantáží topolů a vrby je zobrazena na Obr. 10.

Půdy, které se nachází na našem území, v sobě mají živiny, které dostačují pro dobrý růst vrby a topolů. Není vhodné provádět hnojení hned při výsadbě, jelikož probudí k růstu spíše plevel, než samotné dřeviny. Hlavní operací, kterou je nutné provádět po výsadbě, je pleť. Odstraňování plevelů je prováděno 1-3krát do roka. Aplikace herbicidů pro hubení plevelů by měla být realizována pouze výjimečně. Výhonky jsou na tyto chemické látky velmi citlivé.



Obr. 10 Ukázka plantáže vzrostlých topolů (vlevo) a vrb (vpravo).

Zdroj: <http://biom.cz/cz/obrazek/dvojradky-po-prvni-sklizni>

<http://biom.cz/cz/obrazek/plantaz-vrb-foto-n-e-nordh-slu-2>

V podmínkách ČR jsou plantáže vrb a topolů sklízány v době velmi krátkého obmýetí, které nastává mezi 3-6 rokem růstu. Při plánovaném využití dřevin na štěpku je vhodné je sklízet v zimních měsících, jelikož v sobě mají nejnižší obsah vody. Další výhodou je zmrzlá půda, takže mechanizační stroje nemají problém s bořením do půdy a mají tedy usnadněný pohyb po pozemku. Již vzrostlé plantáže je možné sklízet dvěma způsoby. Prvním je vícefázová sklizeň, kdy dochází ke kombinaci strojní a manuální práce. Příkladem je pořezání porostu motorovou pilou, kdy jsou poté kmeny ponechány pod střechou k vysychání a dále je z nich pomocí štěpkovacího zařízení vytvořena štěpka. Výhodou vícefázové sklizně je sušší štěpka a její nevýhodou je vyšší náročnost práce. Ukázka této sklizně je na Obr. 11. Druhým způsobem je jednofázová sklizeň, při které jsou používány speciální sklízecí stroje, které umí dřeviny pokácet a zároveň vytvořit štěpku. Výhodou této sklizně je lepší manipulovatelnost a dopravovatelnost štěpky, ale nevýhodou je její vyšší obsah vody.

Nejčastějším způsobem likvidace porostů je odstranění pařezků. Pařezky vzniklé po poslední sklizni jsou vyorané při hluboké orbě. Tyto vyorané zbytky dřevin je možné pomocí bran stáhnout na okraj pozemku a pomocí štěpkovače z nich vytvořit štěpku.

Vrby a topoly z výmladkových plantáží se využívají na produkci dřevní štěpky nebo jako palivové dřevo. Štěpku je možné využít v teplárnách a palivové dřevo například v rodinných domech pro přímé spalování [Havličková *et al.*, 2008]. Hodnota spalného tepla je mezi

jednotlivými druhy dřevin mírně odlišná. Pohybuje se v rozmezí 14,7-21,1 GJ.t⁻¹ [Celjak, 2010]. Topolové dřevo je možné také využít pro výrobu dých, překližek, zápalek a obalového materiálu jako jsou bedny a přepravky. Vrby je možné využívat díky jejich vlastnostem k výrobě dřevovláknitých desek nebo k výrobě buničiny [Havlíčková *et al.*, 2008].



Obr. 11 Ukázka těžby topolů pomocí motorové pily a následné štěpkování.

Zdroj: <http://biom.cz/cz/obrazek/tezba-topolu-pomoci-motorove-retezove-pily>

<http://biom.cz/cz/obrazek/stepkovani-topolu-rychle-rostoucich-drevin>

3 VÝBĚR A SPECIFIKACE ENERGETICKÉ PLODINY

V následující kapitole je podrobněji popsáno pěstování autorem vybrané plodiny: kukuřice (*Zea Mays L.*) a její následné využití pro energetické účely. Konkrétní energetické využití této plodiny je ilustrováno v kapitole 5 na příkladu bioplynové stanice v Jetřichovci.

3.1 KUKUŘICE (*ZEa MAYS L.*)

Kukuřice patří do skupiny jednoletých rostlin. Rostlina se skládá ze stébla, které je rozděleno kolénky na články a může dorůst výšky od 1,2 do 3 m. Listy, objímající celé stéblo, vyrůstají nad jednotlivými kolénky. Počet listů je odrůdovým znakem. U samičích rostlin se z květů vytvářejí palice nesoucí zrna. Tato rostlina původně pochází ze subtropických a tropických oblastí, ale v dnešní době jsou již dostupné hybridy pro pěstování v různých podmínkách. Celá rostlina kukuřice je zobrazena na Obr. 12.

Nároky kukuřice na půdu nejsou vysoké, lze ji pěstovat na různých typech orných půd. Jedná se o teplomilnou rostlinu, proto je pro ni při růstu důležitá teplota a její průběh v období

vegetace. Pro optimální růst kukuřice by se měly průměrné denní teploty pohybovat kolem 22°C. Pokud denní teplota poklesne pod 10°C dochází k zastavení růstu rostlin a k jejich žloutnutí. Kukuřice ke svému růstu vyžaduje také dostatek vody. Na tvorbu 1 kg sušiny je vyžadováno 240-270 kg vody. Při pěstování rostliny v méně příznivých klimatických podmínkách jsou vyšší její nároky na půdu.



Obr. 12 Porost kukuřice s detailem na palici se zrny v plné zralosti (měsíc září).

Zdroj: <http://botany.cz/cs/zea-mays/>

Kukuřice při svém růstu odčerpává z půdy velké množství živin, které se musí do půdy vrátit v podobě hnojiv [Havlíčková *et al.*, 2008]. Podle Havlíčkové *et al.* [2008] výnos 40 tun biomasy při 30% sušině odčerpá 120-160 kg N, 60-80 kg P₂O₅, 140-200 kg K₂O, 28-50 kg MgO a 48-70 kg Ca. Vysoké množství živin (až 80%) přijme kukuřice na počátku květu.

Při obnově úrodnosti půdy hrají významnou roli organická hnojiva, především kejda a močůvka, na které kukuřice reaguje velmi pozitivně. Organické hnojivo je ke kukuřici aplikováno v dávkách 35-40 t.ha⁻¹. Při použití statkových hnojiv je důležité jejich včasné a kvalitní zapracování do půdy. Při potřebě nárůstu biomasy je zapotřebí hnojit také dusíkatými hnojivy. Efektivní dávkou z pohledu výnosového a ekonomického je 150 kg.ha⁻¹. Hnojení pomocí P a K hnojiv se provádí v závislosti na zásobenosti dané půdy těmito prvky. Důležitá je také znalost odčerpaného množství fosforu a draslíku z půdy daným výnosem biomasy. Nejvýhodnější je aplikovat tato hnojiva v podzimním období při zpracovávání půdy.

Při pěstování kukuřice je možné využít systém monokultury. Předplodinami, které jsou využívány nejčastěji, jsou obiloviny. Po sklizni předplodiny je potřeba půdu upravit pro následné setí. Při této operaci je prováděna především podmítka a orba, kdy jsou do půdy zapravena hnojiva. Velmi důležitou operací pro pozitivní výnos biomasy je správné založení porostu. Například hustota porostu má důležitý význam v oblasti výnosů a kvality pěstované biomasy. Příliš málo rostlin snižuje výnos a naopak velké množství snižuje jejich kvalitu.

Kukuřici je možné využít dvěma způsoby. Buď k produkci zrna, které je dále používáno jako krmivo, osivo a pro potravinářský průmysl, nebo je možné využívat celé rostliny. Ty jsou dále použity také buď jako krmivo (siláž, zelené krmení) nebo jako vstupní surovina pro výrobu bioplynu a pro přímé spalování. Pro přímé spalování je také ekonomicky výhodné využít zbytkovou biomasu (kukuřičná sláma) po sklizni kukuřice na zrno. Pokud je kukuřice pěstována k energetickým účelům, není hlavní podmínkou pro sklizeň nejvyšší podíl zrn v biomase, ale obsah sušiny. Ten ovlivňuje termín sklizně a optimálně se pro produkci bioplynu pohybuje v rozmezí 28-32%. Kukuřice je využívána k výrobě bioplynu zejména z toho důvodu, že má jeden z nejvyšších výnosových potenciálů biomasy na plochu. Mezi výhody jejího využití také patří to, že technologie jejího pěstování je propracovaná a velmi rozvinutá [Havličková *et al.*, 2008]. Přehled údajů o kukuřici využívané k energetickým účelům je uveden v Tab. 4.

Tab. 4 Parametry kukuřice pěstované k energetickým účelům

Energetická plodina	Kukuřice (<i>Zea mays</i> L.)
Délka života	jednoletá rostlina
Energetické využití	přímé spalování, výroba bioplynu
Energeticky využívána část rostliny	nadzemní fytomasa kukuřičná sláma
Optimální obsah sušiny v biomase (pro výrobu bioplynu)	28-32%
Průměrný výnos biomasy [t.ha⁻¹]	46,0-63,5 (při sušině biomasy 28,0-33,6%)
Spalné teplo kukuřičné slámy [GJ.t⁻¹]	14,524 (sušina biomasy 96,060%)

Zdroj: Andert, 2010; Havličková *et al.*, 2008

3.1.1 Pěstování kukuřice pro výrobu bioplynu

V současné době se pro výrobu bioplynu nejčastěji využívá jako substrát samotná silážní kukuřice, nebo kukuřice v kombinaci s dalšími plodinami nebo statkovými hnojivy [KWS OSIVA s.r.o.]. Při použití kukuřice k výrobě siláže se získaná biomasa nařeže na

řezanku (délka 8-10 mm), utuží se a zakryje. Tento postup je hlavní podmínkou pro to, aby vznikl materiál, který bude vhodný pro výrobu bioplynu [Havlíčková *et al.*, 2008].

Mezi hlavní důvody častého použití kukuřice patří: vysoký výnosový potenciál, celoročně stabilní výnosy, dobrý výtěžek plynu z kilogramu sušiny, vysoký výtěžek plynu z hektaru, vynikající silážovatelnost, její jednoduché uskladnění a příznivé náklady na její produkci. Ke splnění všech výše uvedených podmínek jsou v dnešní době intenzivně šlechtěny hybridy tzv. energetické kukuřice [KWS OSIVA s.r.o.]. Například v bioplynové stanici ve výrobně obchodním družstvu (VOD) Jetřichovec, která ilustruje konkrétní příklad energetického využití kukuřice, jsou pro výrobu siláže využívány energetické hybridy: Touran, Fernandez, Atletico, KWS 5133 ECO [VOD Jetřichovec]. U všech těchto uvedených hybridů, které se využívají převážně k výrobě bioplynu, se pohybuje počet rostlin v období sklizně mezi 85 000-95 000 kusy na hektar [KWS OSIVA s.r.o.]. Průměrné hodnoty výnosů zmíněných energetických hybridů kukuřice jsou uvedeny v Tab. 5.

Využití kukuřice na výrobu bioplynu se jeví perspektivním i do budoucna. Do roku 2020 je počítáno s navýšením množství zemědělských bioplynových stanic na počet 720. Jejich spotřeba silážní kukuřice bude činit, dle předpokladů, množství z přibližně 130-150 tisíc hektarů [Honsová, 2013].

Tab. 5 Průměrné výnosy některých energetických hybridů kukuřice

Hybrid kukuřice	Průměrný výnos suché hmoty [t.ha ⁻¹]	Průměrný výnos zelené hmoty [t.ha ⁻¹]
Touran	16,89	47,47 (36,20% sušina)
Fernandez	19,83	-
Atletico	18,62	56,94 (33,20% sušina)
KWS 5133 ECO	17,80	-

Zdroj: KWS OSIVA s.r.o.

4 TECHNOLOGIE ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ BIOMASY

Pro využití biomasy k energetickým účelům je možné využít mnoho technologií. V dnešní době mezi těmito technologiemi v praxi převažuje využití biomasy k přímému spalování, výrobě bioplynu a výrobě kapalných biopaliv, zejména bioethanolu procesem alkoholového kvašení a esterů kyselin bioolejů procesem esterifikace [Pastorek *et al.*, 2004]. Tyto nejvyužívanější technologie jsou popsány v následující kapitole.

4.1 PŘÍMÉ SPALOVÁNÍ

Technologie spalování je nejjednodušší způsob výroby tepla z biomasy. Jedná se o složitý proces s řadou na sebe navazujících chemických reakcí. Ty probíhají při vysoké teplotě (700-900°C) [Murtinger a Beranovský, 2008; Pastorek *et al.*, 2004] a za přítomnosti vzdušného kyslíku. V ideálním případě při spalování vzniká ze vstupní suroviny oxid uhličitý a voda. Pokud probíhá spalování nedokonale, tak vzniká i množství nežádoucích, obvykle toxických látek. Těmi mohou být oxidy dusíku, polycyklické aromatické uhlovodíky a také saze [Murtinger a Beranovský, 2008]. Hlavním produktem spalování je tepelná energie, která je využívána pro vytápění, technologické procesy či pro výrobu elektrické energie [Motlík a Váňa, 2002]. Pro spalování rostlinné biomasy se nejvíce využívají stébelnaté a dřevnaté materiály. Energetické stébelniny mohou být před samotným procesem mechanicky upraveny na balíky, řezanku nebo pelety. V případě dřevnatých materiálů se pro spalování využívá jak palivové dřevo, tak dřevní štěpka, pelety, brikety, kůra i piliny. Výhodou při spalování rostlinné biomasy je fakt, že se do ovzduší uvolňuje pouze stejné množství CO₂, jaké do sebe rostlina akumulovala fotosyntézou v období růstu. Ve srovnání s fosilními palivy, dochází k nižší produkci tohoto skleníkového plynu, což je z ekologického hlediska velmi výhodné [Pastorek *et al.*, 2004].

Pro technologii spalování většinou není vyžadována speciální úprava vstupní biomasy [Motlík a Váňa, 2002]. Na spalování biomasy se využívají kotle s širokou škálou výkonů: kotle malých výkonů (20-60 kW), kotle středních výkonů (100 kW-5 MW) a kotle velkých výkonů (5 MW a více). V kotlích malých výkonů se převážně spaluje dřevo. Nejprve dochází k zahřívání materiálu a odpaření vody. Následně se díky dodávanému teplu uvolní spalitelný plynný podíl paliva. Když je v kotli dosaženo dané zápalné teploty a je také zajištěn dostatečný přístup kyslíku, dochází ke vznícení plynu a následnému uvolnění spalného tepla [Pastorek *et al.*, 2004]. V Tab. 6 jsou uvedeny hodnoty spalných tepel vybraných energetických rostlin. Následně dochází ke spalování pevných látek, zejména uhlíku.

Jednotlivé konstrukce kotlů se středními výkony jsou velmi podobné a při jejich využití je často nutná úprava paliva do podoby štěpky z důvodu automatizace celého procesu spalování. Do kotlů se středním výkonem se například řadí kotle na slámu. Nejčastěji se sláma sklízí ve formě velkých balíků, ty je nutno upravit na řezanku a obvykle pneumatickým systémem dodávat k topeništi. V dnešní době existují také technologie pro spalování celých balíků slámy. Kotle s velkými výkony se využívají při centralizovaném zásobování teplem. V tomto

případě je teplo vyráběno v jednom velkém zdroji tepla a následně dopravováno ke spotřebiteli pomocí tepelných rozvodů [Pastorek *et al.*, 2004].

Tab. 6 Hodnoty spalného tepla sušiny vybraných energetických rostlin

Energetická rostlina	Spalné teplo sušiny [GJ.t ⁻¹]
Ovsík vyvýšený	17,596
Lesknice rákosovitá	18,120
Ozdobnice čínská	19,669
Sveřep vzpřímený	18,516
Triticale	16,983
Pelety z obilné slámy	16,930
Pelety z řepkové slámy	16,750
Dřevní peletky	21,781
Sláma konopí setého	18,100
Sláma kukuřice	15,120

Zdroj: Andert, 2010; Frydrych *et al.*, 2012; Hutla, 2010; Váňa, 2007

4.2 VÝROBA BIOPALIV

Pojmem biopalivo se označují kapalná či plynná paliva pro dopravu, která jsou vyrobena z biomasy. Mezi nejvýznamnější biopaliva patří bioplyn (viz kapitola 4.3), bioethanol, čisté rostlinné oleje a bionafta. Mezi hlavní způsoby přeměny biomasy na palivo pro pohon motorů se řadí: anaerobní fermentace organických materiálů za vzniku bioplynu, fermentace plodin bohatých na škrob a cukr nebo celulóзовých produktů s přeměnou na alkohol a extrakce biooleje z olejnin a jeho následná esterifikace [Pastorek *et al.*, 2004].

4.2.1 Alkoholové kvašení

Důležitým parametrem pro využití vstupního materiálu k procesu alkoholového kvašení je vysoký obsah cukrů a jejich rozložitelnost. Obsažené cukry jsou při fermentaci postupně přeměňovány na výsledný produkt, kterým je alkohol. Biomasa obsahující vysoké množství cukrů je například z cukrové řepy a třtiny. Vhodnými materiály jsou také brambory, kukuřice a obilniny díky vysokému obsahu polysacharidu škrobu [Slejška a Váňa, 2006].

Technologie alkoholového kvašení je již známá dlouhou dobu a je dobře propracovaná [Pastorek *et al.*, 2004]. Vstupní surovina, která obsahuje jednoduché cukry, se může použít přímo k fermentaci, ovšem surovinu obsahující škrob je potřeba nejprve hydrolyzovat. Nejčastěji se využívá enzymatická hydrolyza. Fermentací vzniklý ethanol je přečištěn a zkoncentrován pomocí destilace. Tímto procesem lze dosáhnout až 96% obsahu ethanolu.

V Tab. 7 je uvedena průměrná produkce ethanolu u vybraných rostlin. Vzniklý vysokoprocenní ethanol je možné přímo použít jako palivo do upravených spalovacích motorů. Na trhu také existuje množství standardních směsí ethanolu s benzínem o obsahu 10-95% ethanolu [Murtinger a Beranovský, 2008]. Například velmi rozšířené palivo E85 je možné použít k pohonu u většiny benzínových motorů bez jejich větších úprav [Stupavský, 2008]. V dnešní době probíhají výzkumy s cílem využití lignocelulózových materiálů (například dřevní štěpka či piliny) k přípravě bioethanolu. Nejobtížnější částí tohoto procesu je hydrolyza komplexu ligninu, celulózy a hemicelulózy na jednoduché zkvasitelné cukry [Murtinger a Beranovský, 2008].

Tab. 7 Produkce ethanolu pro jednotlivé plodiny

Plodina	Výtěžnost ethanolu [l.t⁻¹]
Pšenice ozimá (zrno)	370
Cukrová řepa (bulvy)	80
Brambory (hlízy)	100
Topinambur (hlízy)	77
Čirok cukrový (nadzemní část)	76
Kukuřice (zrno)	386

Zdroj: Pastorek et al., 2004

4.2.2 Esterifikace bioolejů

Surové rostlinné oleje jsou estery mastných kyselin a glycerinu, které se vyskytují v semenech rostlin. Ve střední Evropě má největší význam použití řepkového oleje ve formě kapalného biopaliva. Lze používat také olej ze sojových bobů, olej sezamový, kokosový, bavlníkový, hořčičný či slunečnicový. Alternativou je také získávání olejů z mikroskopických řas, u kterých jsou v současné době studovány optimální podmínky růstu [Murtinger a Beranovský, 2008].

Při výrobě olejů jsou olejnatá semena nejprve zahřáta na 80-90°C a následně jsou lisována v kontinuálním šnekovém lisu. Vzniklé pokrutiny jsou následně drceny a další podíl oleje je z nich extrahován organickým rozpouštědlem. Rozpouštědlo je následně oddestilováno a tento podíl oleje je smíchán s olejem vzniklým lisováním. Poté dochází k odstranění doprovodných látek pomocí rafinace [Pastorek et al., 2004]. Průměrné výnosy oleje u vybraných rostlin jsou uvedeny v Tab. 8.

Tab. 8 Výnosy biooleje u vybraných rostlin

Rostlina	Výnos rostlinného oleje [l.ha ⁻¹]
Sojové boby	375
Řepka	1 000
Hořčice	1 300
Kokosová palma	5 800
Řasy	95 000

Zdroj: Murtinger a Beranovský, 2008

Surové rostlinné oleje se nedají využít v běžných vznětových motorech z důvodu jejich vysoké viskozity. Ta musí být snížena například v upravených motorech vysokou teplotou, nebo vytvořením methylesterů kyselin procesem esterifikace. Výhodou použití surových olejů, například pro zemědělskou techniku, je jejich biodegradabilita. V případě jejich vylití a vsáknutí do půdy se oleje rychle rozloží a není nutné kontaminovanou zeminu čistit. Nevýhodou jejich využívání je již zmíněná nutnost úpravy vznětového motoru a potíže při jeho provozu [Murtinger a Beranovský, 2008].

Z rostlinných olejů tvoří asi 98% triglyceridy, které se katalyzovanou esterifikací nebo reesterifikací nejčastěji s methanolem přeměňují na methylestery masných kyselin. Vedlejším produktem procesu je glycerin. U takto vzniklých methylesterů musí dojít k následné rafinaci na standardizovanou kvalitu z důvodu velkého množství rozpustných nečistot [Pastorek *et al.*, 2004]. V České republice je nejrozšířenějším biopalivem methylester řepkového oleje (MEŘO) [Murtinger a Beranovský, 2008]. Ten má výhřevnost a vlastnosti velmi podobné motorové naftě [Stupavský, 2008] a lze ho používat k pohonu bez dalších úprav vznětového motoru. MEŘO se také používá ve směsi s normální naftou. Tato směs obsahuje 30% methylesteru oleje a 70% motorové nafty. Tím dochází k odstranění některých nevhodných vlastností využití samotného MEŘO. Těmi jsou například vyšší viskozita a poškozování pryžových součástí v motoru a palivovém systému [Murtinger a Beranovský, 2008].

4.3 ANAEROBNÍ FERMENTACE

Této technologii je věnována větší pozornost z důvodu jejího využití v bioplynové stanici ve Voděňanech, která ilustruje konkrétní energetické využití autorem vybrané plodiny. Vznik bioplynu lze popsat jako vícestupňový proces, při kterém dochází k biologickému rozkladu organických látek. Na konci tohoto procesu vlivem působení mikroorganismů vzniká tzv. bioplyn. Bioplyn vzniklý methanovou fermentací je směs plynů, která obsahuje

vždy dva plyny, které jsou zastoupeny majoritně (CH_4 a CO_2) a další plyny, které jsou objemově zanedbatelné [Pastorek *et al.*, 2004]. Takto vzniklý bioplyn je dále využíván pro výrobu tepla, popřípadě i elektrické energie. Po ukončení procesu methanogeneze zůstává ve fermentoru tekutý zbytek, tzv. digestát. Ten má vždy jiné vlastnosti a složení, které závisí na složení vstupní suroviny. Tento vedlejší produkt je využíván jako hnojivo v zemědělské výrobě a představuje úsporu v množství kupovaných hnojiv [KWS OSIVA s.r.o.].

Proces vzniku bioplynu je ovlivňován řadou vlivů, mezi které patří například složení materiálu, jeho vlhkost a kyselost či teplota prostředí. Anaerobní fermentace je složitý biochemický proces. Skládá se z velkého množství fyzikálních, fyzikálně-chemických a biologických procesů, které na sebe navazují. Zjednodušeně je možné celý proces anaerobní fermentace vlhkých organických materiálů rozdělit do čtyř fází.

První fází je hydrolýza, která začíná v období, kdy je v prostředí ještě obsažen vzdušný kyslík. Pro nastartování hydrolýzy je důležitý obsah vlhkosti. Ten by se měl pohybovat nad 50% hmotnostního podílu. Enzymatickým rozkladem dochází k přeměně polymerů (proteiny, lipidy, polysacharidy) na jednodušší organické látky – monomery. Při acidogenezi (2. fáze) lze ve zpracovávaném materiálu nalézt zbytky kyslíku, přičemž v této fázi dojde k vytvoření anaerobního prostředí (bez O_2). Bezokyslíkaté prostředí je tvořeno pomocí četných fakultativně anaerobních mikroorganismů. Dochází ke vzniku CO_2 , H_2 a CH_3COOH (kyselina octová), což umožňuje methanogenním bakteriím následně vytvářet methan. Dále vznikají jednodušší organické látky jako například vyšší organické kyseliny či alkoholy. Třetí fází je acetogeneze, která je označována jako mezifáze. Dochází zde za pomoci acidogenních kmenů bakterií k transformaci vyšších organických kyseliny na kyselinu octovou, vodík a oxid uhličitý. Poslední fází je methanogeneze, v níž dochází pomocí methanotrofních bakterií k rozkladu kyseliny octové na methan a oxid uhličitý. Dále se této fáze účastní hydrogenotrofní bakterie produkující methan z vodíku a oxidu uhličitého [Pastorek *et al.*, 2004].

4.3.1 Materiály vhodné pro výrobu bioplynu

Vhodné materiály by měly obsahovat málo popelovin a vysoký podíl biologicky rozložitelných látek. Optimální obsah sušiny pro zpracování pevných odpadů (chlévská mrva, organický podíl tuhých komunálních odpadů, sláma - kukuřičná, řepková, obilná, zbytky z údržby travnatých ploch) je 22-25%. Pokud jsou zpracovávány tekuté odpady (kejda, kaly z čistíren odpadních vod), měl by tento obsah být 8-14%. Tekuté odpady zpracovávané

anaerobní fermentací, které obsahují <3% sušiny, vykazují negativní energetickou bilanci. To znamená, že pro dosažení požadované provozní teploty, je nutná dodávka doplňkového tepla z externího zdroje. Horní hranice, kdy ještě probíhá anaerobní fermentace je 50% obsahu sušiny. Faktorem, který značně ovlivňuje methanogenní fermentaci je pH materiálu. Optimální pH materiálu na vstupu je 7-7,8. Aby bylo dosaženo optimální hodnoty je možné pH vstupujícího materiálu upravit. Důležitým faktorem pro volbu materiálu pro anaerobní fermentaci je poměr uhlíkatých a dusíkatých látek. Za optimum je považován poměr 30:1, kterého lze v praxi dosáhnout smícháváním rozdílných materiálů. Materiál může obsahovat nežádoucí příměsi, které snižují jeho vhodnost pro použití do procesu anaerobní fermentace. Těmito příměsmi jsou všechny druhy antibiotik, které potlačují mikrobiální rozvoj. Ty se používají jako léčiva pro hospodářská zvířata, nebo jako součást krmných směsí. Do reaktorů by neměl přijít ani materiál, který již podléhá hnilobnému rozkladu [Pastorek *et al.*, 2004].

4.3.2 Složení bioplynu

Ideální bioplyn by měl obsahovat pouze dva majoritní plyny. Těmi jsou methan (CH₄) a oxid uhličitý (CO₂). Obvyklý obsah methanu je 50-75%, který doplňuje oxid uhličitý v množství 25-50%. V praxi ovšem obsahuje surový bioplyn další minoritní plyny. V případě, že se v bioplynu vyskytuje vysoké množství oxidu uhličitého, znamená to, že podmínky pro anaerobní fermentaci nebyly optimální. V prostoru fermentoru může být také přítomen kyslík (mimo počáteční fázi procesu). Jeho výskyt je často zapříčiněn zavzdušňováním pracovního prostoru. Toto znečištění bioplynu je z bezpečnostního hlediska nežádoucí, jelikož dochází ke vzniku výbušné směsi methanu a kyslíku. V bioplynu je možné nalézt také stopy argonu vzdušného původu, amoniaku či oxidu dusného. Významnou složku tvoří také minoritní plyn sulfan (H₂S), jehož obsah je proměnlivý. Při vysokém obsahu H₂S vzniká problém při konečném využití bioplynu [Pastorek *et al.*, 2004]. Složení bioplynu je uvedeno v Tab. 9.

Tab. 9 Složení bioplynu

Složka bioplynu	Chemický vzorec	Množství [%]
methan	CH ₄	50-75
oxid uhličitý	CO ₂	25-50
voda	H ₂ O	2-7
sulfan	H ₂ S	2
dusík	N ₂	<2
vodík	H ₂	<1
amoniak	NH ₃	0-1

Zdroj: KWS OSIVA s.r.o.

4.3.3 Vlastnosti bioplynu

Výhřevnost bioplynu je dána obsahem majoritního methanu (CH_4). Ostatní minoritní plyny obsažené v bioplynu mají zanedbatelný energetický význam. Spalné teplo methanu je $39,819 \text{ MJ.m}^{-3}$, jeho výhřevnost je $35,883 \text{ MJ.m}^{-3}$. Za hranici zápalnosti methanu ve směsi se vzduchem je možné považovat 5-15 objemových procent methanu, kdy je již vytvořena výbušná směs. Hodnota zápalné teploty bioplynu je totožná jako pro methan: $650\text{-}750^\circ\text{C}$ [Pastorek *et al.*, 2004].

4.3.4 Využití bioplynu k energetickým účelům

Využití bioplynu k energetickým účelům je stejné jako využití ostatních plyných paliv. Bioplyn se využívá pro přímé spalování v hořácích plynových kotlů. Dále může být bioplyn využit při tzv. kogeneraci na výrobu elektrické energie a ohřev teplotního média. Pokud je při tomto procesu vyráběn i chlad, jedná se o proces trigenerace. V České republice se nejčastěji využívá bioplyn v kogeneračních jednotkách a k přímému spalování v kotlích.

V kogenerační jednotce je spojen plynový motor (turbína) s generátorem elektrického proudu. Využití této metody při zpracování bioplynu dosahuje vysoké účinnosti přeměny energie z bioplynu na energii tepelnou a elektrickou, a to až 80-90%. Orientačně je možné počítat s tím, že přibližně 30% energie bioplynu je přeměňováno na elektrickou energii a 60% na energii tepelnou. Zbýlých 10% jsou tepelné ztráty [Pastorek *et al.*, 2004].

V současnosti se pro využití tepla a pro zvýšení výroby elektřiny z kogeneračních jednotek využívají stále více systémy tzv. ORC (organický Rankinův cyklus), ve kterých se jako provozní médium používají organické látky. Existují dva základní typy ORC zařízení: horkovodní a spalínové. Horkovodní ORC se využívá u menších bioplynových stanic s kogenerační jednotkou o elektrickém výkonu 0,5-1 MW. Tento systém využívá horkou vodu z chlazení kogenerační jednotky [Géba, 2016]. Toto teplotní médium ve výparníku předává teplo pracovnímu médiu (silikonový olej) ORC jednotky a přeměňuje ho na páru, která proudí do turbíny, kde expanduje na jejích lopatkách. Zde dochází k přeměně přivedené energie proudící páry na mechanickou energii. Tato energie se následně transformuje na elektrickou energii na generátoru. Vystupující nízkotlaká pára proudí do ekomizéru, kde předehřívá další vstupující organickou kapalinu do výparníku. Poté je tato pára ochlazená studenou vodou a kondenzuje zpět na kapalinu v kondenzátoru [Pavelková a Živělová, 2011].

Ochlazená voda vstupuje zpět do okruhu motoru. Celý proces se následně opakuje. V případě kogeneračních jednotek s elektrickým výkonem vyšším než 1 MW je ekonomicky výhodnější využití spalínového ORC. Toto zařízení využívá přímo spaliny motoru. Tyto spaliny ve výměníku ohřívají kapalně médium ORC, které přeměňují na páru. Následný průběh procesu je stejný jako v případě horkovodního ORC zařízení. Vzniklá pára roztáčí turbínu elektrického generátoru a poté je ochlazena a kondenzuje. Ochlazené spaliny vystupují ze systému komínem. Výhodou používání spalínových ORC systémů je nevyužití horké vody z chladicího okruhu motoru. Tuto vodu lze dále využít jinak, například pro provoz sušáren či k vytápění objektů [Géba, 2016].

5 ANALÝZA ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ KUKUŘICE V KONKRÉTNÍCH PODMÍNKÁCH ZEMĚDĚLSKÉHO DRUŽSTVA

Pro účely této bakalářské práce byl navázán kontakt se zemědělským družstvem Jetřichovec, které provozuje bioplynovou stanici, konkrétně s vedoucím provozu, panem Ing. Martinem Žáčkem, který poskytl všechny následující informace. Výrobně obchodní družstvo Jetřichovec leží na severozápadě Českomoravské vrchoviny u města Pacov. V podniku je provozována rostlinná, živočišná a přidružená výroba - provoz bioplynové stanice. Mezi další činnosti družstva patří nabídka stravovacích služeb a nákladní autodoprava.

Firma byla založena a zapsána do obchodního rejstříku v roce 1975, kdy jejímu vzniku předcházelo sloučení tří jednotných zemědělských družstev (JZD) - ve Zhořci, Salačově Lhotě a Jetřichovci. V současné době družstvo zaměstnává 80 pracovníků. Družstvo disponuje vlastním kapitálem 140 000 000 Kč a jeho roční obrat činí 190 000 000 Kč.

Rostlinná výroba

Družstvo hospodář na 2 150 ha zemědělské půdy, která je považována za základní výrobní prostředek. Z celkové výměry zemědělské půdy je 1 800 ha půda orná a zbytek jsou louky, na kterých jsou travní porosty. Rostlinnou výrobou je zajišťováno především krmivo pro živočišnou výrobu. Dalším využitím rostlinné výroby je zajištění surovin pro provoz bioplynové stanice. Zbývající část jsou plodiny, které se používají k tržním účelům. Mezi ty patří především brambory a řepka olejná.

Živočišná výroba

VOD Jetřichovec se zabývá chovem skotu, prasat a produkcí mléka. Průměrný stav skotu je cca 1 900 kusů zvířat, kdy 700 kusů z toho jsou dojnice. Plemeno, které v dnešní době převažuje je mléčné holštýnské. Chovaná prasata jsou plemene Landrase. Toto plemeno má kvalitní růstové přírůstky a vhodný podíl svaloviny a tuku. V současné době je zde chováno kolem 1 000 kusů prasat. Rozvoj výroby také podporuje tvorba vlastních kvalitních objemných krmiv a z genetického hlediska také přenos embryí.

Přidružená výroba (bioplynová stanice)

Od roku 2009 funguje ve VOD Jetřichovec bioplynová stanice (BPS) o maximálním instalovaném elektrickém výkonu 1 151 kWh. Tato bioplynová stanice doplňuje zemědělskou a podnikatelskou činnost zdejšího družstva. Surovinami, které se používají jako vstupní do BPS, jsou kukuřičná siláž, travní senáž, chlévská mrva a kejda.

První etapa výstavby bioplynové stanice byla i díky dotaci, která činila 21 700 000 Kč, zahájena v dubnu roku 2008. Celkové náklady na tuto část stavby činily 52 600 000 Kč. Poté následovala výstavba silážních žlabů, která byla prováděna od července roku 2008. Na tuto část byla poskytnuta dotace ve výši 7 800 000 Kč. Investice do celé výstavby této etapy byla 22 700 000 Kč. Následně byla provedena poslední fáze výstavby BPS v období od července 2009 do konce roku 2009. Celkové náklady na tuto etapu výstavby byly 22 400 000 Kč, přičemž byla opět poskytnuta dotace ve výši 10 000 000 Kč. Celkem bylo na výstavbu BPS ve VOD Jetřichovec vynaloženo 97 700 000 Kč.

Kukuřičná siláž a travní senáž jsou před samotným využitím v BPS uskladněny ve čtyřech silážních žlabech o rozměrech 68x22x4 m. Kapacita každého z těchto silážních žlabů je 5 000 tun. Vznikající silážní šťávy jsou z těchto žlabů odváděny do zásobovací jímky BPS, do které je také naskladňovaná kejda jako další vstupní surovina.

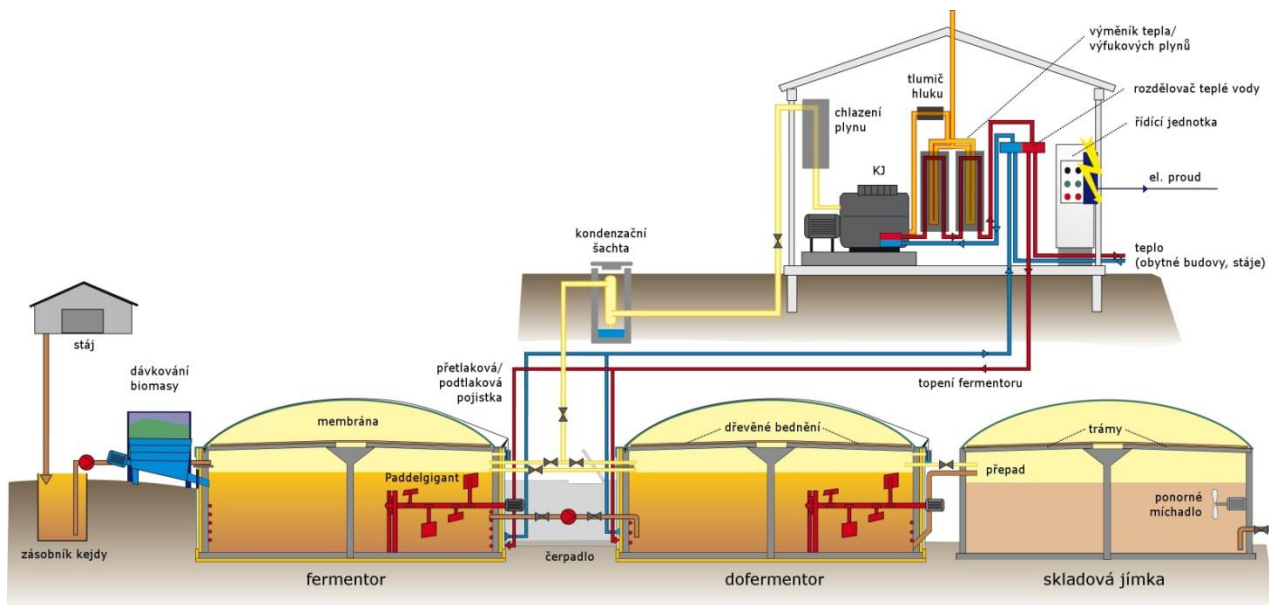
Součástí BPS jsou čtyři jímky, každá o průměru 21 m a hloubce 6 m. V každé z těchto jímek je cca 1 800 m³ materiálu, kterým je tzv. digestát. Jímky jsou rozděleny na dva primární a dva sekundární fermentory. V těchto fermentorech probíhá anaerobní fermentace mokrou cestou. Optimální teplota pro mezofilní proces je 43°C. Dávkování do primárních fermentorů probíhá každou hodinu v množství 1,2 tuny směsi kukuřičné siláže a travní senáže. K této směsi se každý den přidává přibližně 10 m³ prasečí kejdy nebo hovězí močůvky. Při

dávkování vstupních surovin je také potřeba sledovat obsah minerálních látek v přítomném digestátu. Ty mají pozitivní vliv na množení a funkci methanogenních bakterií. Pokud je jejich obsah nízký, přidávají se do BPS ještě speciální minerální směsi obsahující prvky jako železo, mangan, měď, zinek, nikl, molybden, selen a kobalt. Ve fermentorech je nutno udržovat optimální pH v hodnotě 7,2-7,8 a obsah sušiny do 12%. Tento obsah sušiny je důležitý z hlediska míchání a čerpání digestátu, který musí být tekutý. V tomto prostředí se lépe uvolňuje bioplyn a následně také lépe prostupuje biomasou. Ve všech fermentorech dochází k promíchávání digestátu třemi vrtulovými míchadly v pravidelném intervalu 36 minut (míchání po dobu 8 minut). Materiál je ve fermentorech držen po dobu 60 dnů a následně odtéká přepadem do skladovací jímky o průměru 40 m, hloubce 6 m a kapacitě 7 000 m³. Mezi fermentory je digestát přečerpáván systémem čerpadel. Jeho cesta je řízena pomocí pneumatických ventilů. Tato technologie je umístěna v servisní podzemní strojovně mezi jímkami. Soustava 4 fermentorů s dávkovacími zařízeními a budova kogenerace jsou zobrazeny na Obr. 13. Obecné schéma bioplynové stanice je na Obr. 14.



Obr. 13 Fermentační jímky a budova kogenerace BPS ve VOD Jetřichovec.

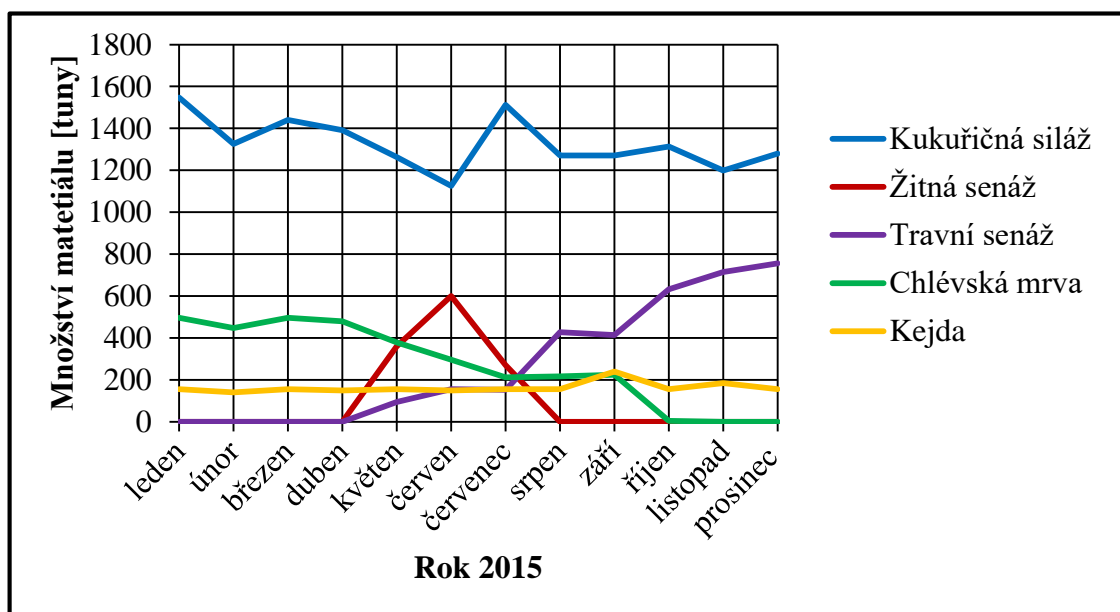
Zdroj: http://www.vodjetrichovec.cz/images/phocagallery/Foto/thumbs/phoca_thumb_l_26.jpg



Obr. 14 Obecné schéma bioplynové stanice.

Zdroj: http://www.agrikomp.de/images/stories/processed/CZ/pdf/Schema_BPS_komplet-cs-CZ.jpg

Náplň fermentoru je řízena produkcí bioplynu, která by měla dosahovat hodnot $236-240 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Složení základní dávky může být: 40-50% kukuřičné siláže, 30% travní senáže, 10% CCM (corn cob mix, sklizené zrno kukuřice s částmi palic) a 5-10 m^3 kejdy (množství dle hustoty ve fermentorech). Tato směs je navažována 2krát denně. Příklad denní dávky do BPS je: 10 tun kukuřičné siláže, 6 tun senáže, 1,5 tuny CCM, 4 tuny chlěvské mrvy a 5-10 m^3 kejdy. Konkrétní složení vstupního materiálu v roce 2015 je zobrazeno na Obr. 15.



Obr. 15 Konkrétní složení vstupního materiálu do BPS Jetřichovec v roce 2015.

Zdroj: VOD Jetřichovec

Vznikající plyn je z fermentorů odváděn systémem plynovodů přes kondenzační šachtu do plynojemu. Ten se nachází v podkroví budovy kogenerace a jedná se o gumotextilní vak o objemu 640 m³. Tento objem vystačí na cca 85 minut provozu kogeneračních jednotek (KJ) na plný výkon. Pokud je plynu přebytek, dochází k jeho spalování v tzv. bezpečnostním hořáku plynu. V BPS jsou instalovány dvě kogenerační jednotky typu JMS 312 GS-B od firmy GE Jenbacher (Rakousko). Údaje o těchto kogeneračních jednotkách jsou uvedeny v Tab. 10. Teplo produkované jednotkami je částečně spotřebováno na dohřívání fermentorů a pro potřeby areálu. V letních měsících se vyprodukované teplo využívá na dosoušení obilí. V současné době je v BPS také využíváno zařízení Tri-O-Gen typu WB-1. Jedná se o spalínové ORC zařízení, které převádí tepelnou energii spalin na elektrickou energii.

Tab. 10 Specifikace kogeneračních jednotek

Číslo kogenerační jednotky	1	2
Elektrický výkon motoru [kW]	526	625
Mechanický výkon motoru [kW]	544	646
Tepelný výkon motoru [kW]	566	353
Spotřeba bioplynu za 1 hodinu (plný výkon) [m ³ .hod ⁻¹]	260	313
Celková hmotnost [kg]	9 900	9 900
Hmotnost generátoru [kg]	2 200	2 200

Zdroj: VOD Jetřichovec

Vyprodukovaný bioplyn v BPS Jetřichovec má průměrné složení: 53-58% CH₄, 40-44% CO₂, 0,0-0,1% O₂, 9-500 ppm H₂S. Hodnoty jsou získány z chemické analýzy bioplynu. Ta probíhá kontinuálně při provozu každé 4 minuty v jednotlivých fermentorech. Bioplyn je následně upravován zejména vysoušením a odsířením. Odsíření probíhá ve třech stupních: ve fermentorech, plynovodu a před vstupem do kogeneračních jednotek. Do fermentorů je vháněn vzduch nad hladinu digestátu. S ním reaguje H₂S a vznikají siřné soli a oxidy síry. Ty se vysráží na stěnách a stropě fermentoru. V plynovodu je bioplyn ochlazován, přičemž kondenzuje vodní pára, na kterou se naváže síra. Vzniklý kondenzát je jímán v kondenzační šachtě a následně přečerpán do koncového skladu. Následné ochlazení bioplynu na 7°C před vstupem do kogeneračních jednotek způsobí kondenzaci zbytku vodní páry. Na kondenzát se naváže i zbytek síry. Kondenzát je opět jímán a skladován v koncovém skladu.

Jak již bylo výše zmíněno, hlavními produkty při využití bioplynu ve VOD Jetřichovec jsou elektrická a tepelná energie. Vzniklé teplo je používáno na vyhřívání fermentačních nádrží, dosoušení obilí a pro potřeby areálu. Tepelná energie spalin je využita na výrobu

elektrické energie v systémech ORC. Elektrická energie je využívána pro pokrytí spotřeby BPS a areálu VOD Jetřichovec. V Tab. 11 je uvedeno množství vyrobené a využití elektrické energie v BPS Jetřichovec a zisk za rok 2015. Pokud je vyrobená elektrická energie využita pro potřeby areálu, jako v tomto případě, vzniká družstvu nárok na zisk tzv. zeleného bonusu, který je vyplácen za celkové množství vyrobené elektrické energie s výjimkou energie spotřebované v BPS. Jeho výše byla pro rok 2015 stanovena Energetickým regulačním úřadem (ERÚ) na hodnotu 3 270 Kč.MWh⁻¹, pro letošní rok byla tato cena navýšena na 3 390 Kč.MWh⁻¹. Přebytek nevyužití elektřiny je odprodán odběrateli elektrické energie, kterého si najde sám výrobce a s nímž si také domluví výkupní cenu. V případě VOD Jetřichovec je elektřina odprodávána do sítě a výkupní cena činí 790 Kč.MWh⁻¹.

Tab. 11 Přehled výroby elektrické energie a utržených zisků za rok 2015

Množství vstupního materiálu [t.rok ⁻¹]	kukuřičná siláž	15 936,3	
	žitná senáž	1 230,0	
	travní senáž	3 346,0	
	chlévková mrva	3 250,0	
	kejda	1 950,0	
	celkem	25 712,3	
Elektrická energie vyrobená kogenerační jednotkou 1 [MWh.rok ⁻¹]	4 394,134		
Elektrická energie vyrobená kogenerační jednotkou 2 [MWh.rok ⁻¹]	5 259,998		
Elektrická energie vyrobená ORC systémem [MWh.rok ⁻¹]	589,034		
Čistá výroba elektrické energie (beze ztrát, maximální) [MWh.rok ⁻¹]	10 243,166		
Čistá výroba elektrické energie z tuny vstupního materiálu [MWh.t ⁻¹]	0,398		
Prodaná elektrická energie odběrateli [MWh.rok ⁻¹]	8 893,818	→Zisk [Kč.rok ⁻¹]	8 893,818·4 060= 36 108 901,08
Elektrická energie spotřebovaná v areálu VOD [MWh.rok ⁻¹]	353,760	→Zisk [Kč.rok ⁻¹]	353,760·3 270= 1 156 795,20
Elektrická energie spotřebovaná v BPS [MWh.rok ⁻¹]	840,372		
Výroba elektrické energie (se ztrátami - transformátor, vedení) [MWh.rok ⁻¹]	10 087,950		
Ztráty elektrické energie (transformátor, vedení) [MWh.rok ⁻¹]	155,216		
Celkem zisk z BPS za rok 2015 [Kč.rok⁻¹]	36 108 901,08+1 156 795,20=37 265 696,28		

Zdroj: VOD Jetřichovec

6 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce byl popis současného stavu využívání energetických plodin na území ČR. V dnešní době se nejenom Česká republika přiklání k využívání obnovitelných zdrojů energie namísto tradičních fosilních paliv kvůli rychlému poklesu jejich zásob a negativnímu vlivu na životní prostředí. K získávání energie z obnovitelných zdrojů se proto do budoucna jeví jako perspektivní využívání cíleně produkované biomasy energetických plodin.

Výběr energetické plodiny je zejména závislý na způsobu jejího dalšího využití. Tím nejčastěji bývá přímé spalování, výroba bioplynu a biopaliv. Volba plodiny se také odvíjí od stanoviště, klimatu a nákladů spojených s pěstováním. Jak vyplynulo z dostupných údajů (rešerše), perspektivnějšími jsou víceleté plodiny, zejména z důvodu snížených nároků na každoroční obnovu porostu. Tyto plodiny nekladou vysoké nároky na sklízecí techniku a poskytují pravidelné roční výnosy.

Úkolem této práce byla také charakteristika vybrané plodiny včetně jejího technicko-ekonomického zhodnocení. Zvolena byla kukuřice (*Zea mays* L.), kterou je výhodné pěstovat díky nízkým nárokům na půdu a dobře propracované technologii jejího pěstování. Pro energetické využití jsou dnes k dispozici hybridy tzv. energetické kukuřice. Ty se využívají především jako vstupní surovina do bioplynových stanic. Tyto rostliny disponují vysokým výnosovým potenciálem, příznivými náklady na produkci, dobrými schopnostmi ke skladování a také vysokým výtěžkem bioplynu z hektaru půdy. Konkrétní využití bylo popsáno na příkladu VOD Jetřichovec, které vlastní bioplynovou stanicí s využitím bioplynu v kogeneračních jednotkách o výkonu 1 151 kWh_{el}.

Plyn z bioplynových stanic je v kogeneračních jednotkách využíván k produkci tepelné a elektrické energie. Ve VOD Jetřichovec je vzniklé teplo využito pro potřeby bioplynové stanice, na sušení obilí a také pro potřeby areálu družstva. Elektřina je využívána na provoz areálu a také je odprodávána do sítě. Z těchto důvodů se jeví provozování bioplynové stanice jako výhodné. Nevýhodou menších zemědělských družstev je vlastnictví malého množství produkčních ploch, které se dají využít k pěstování plodin do bioplynových stanic. Proto je nutné tyto plodiny pěstovat stále na stejných půdách, což může vést ke sníženým výnosům. Východiskem by mohl být nákup těchto vstupních surovin, což je ale ekonomicky velmi nevýhodné. Z tohoto důvodu se jeví jako vhodné využití bioplynových stanic pouze ve větších zemědělských družstvech, které disponují velkou rozlohou produkčních ploch.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- ANDERT, D. Zkušenosti ze spalování alternativních peletek. *Biom.cz* [online]. 2010-01-27 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zkusenosti-ze-spalovani-alternativnich-peletek>. ISSN 1801-2655.
- CELJAK, I. Pěstování topolů pro energetické účely - 3. *Biom.cz* [online]. 2010-09-06 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/pestovani-topolu-pro-energeticke-ucely-3>. ISSN 1801-2655.
- FRYDRYCH, J., ANDERT, D., JUCHELKOVÁ, D. Výzkum využití trav pro energetické účely. *Biom.cz* [online]. 2012-10-22 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyzkum-vyuziti-trav-pro-energeticke-ucely>. ISSN 1801-2655.
- GÉBA, J. Zařízení ORC zvýší výrobu elektřiny z kogenerační jednotky. *Biom.cz* [online]. 2016-02-04 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zarizeni-orc-zvysi-vyrobu-elektriny-z-kogeneracni-jednotky>. ISSN 1801-2655.
- HAVLÍČKOVÁ, K., WEGER, J., BOHÁČ, J., ŠTĚRBA, Z., HUTLA, P., KNÁPEK, J., VAŠÍČEK, J., STRAŠIL, Z., KAJAN, M., LHOTSKÝ, R. *Rostlinná biomasa jako zdroj energie*. Průhonice: VÚKOZ, v.v.i., 2008. 83 s. ISBN 978-80-85116-65-6.
- HONSOVÁ, H. Pěstování kukuřice na výrobu bioplynu. *Biom.cz* [online]. 2013-09-16 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/pestovani-kukurice-na-vyrobu-bioplynu>. ISSN 1801-2655.
- HRDLÍČKA, F. *Biomasa - zdroj obnovitelné energie*. Praha: České vysoké učení technické, 2003. 28 s. Profesorské přednášky. ISBN 80-01-02830-5.
- HUTLA, P. Tuhá biopaliva z místních zdrojů. *Biom.cz* [online]. 2010-11-01 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/tuha-biopaliva-z-mistnich-zdroju>. ISSN 1801-2655.
- MOTLÍK, J., VÁŇA, J. Biomasa pro energii (2) Technologie. *Biom.cz* [online]. 2002-02-06 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-energii-2-technologie>. ISSN 1801-2655.
- MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J. *Energie z biomasy*. 2. aktualizované vydání. Brno: ERA, 2008. 92 s. ISBN 978-80-7366-115-1.
- MUŽÍK, O., KÁRA, J. Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. *Biom.cz* [online]. 2009-03-04 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>. ISSN 1801-2655.
- NAŘÍZENÍ VLÁDY č. 352 Sb. ze dne 3. července 2002, kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší. *Sbírka zákonů České republiky*. 2002, částka 127, s. 7376-7407.
- PASTOREK, Z., KÁRA, J., JEVIČ, P. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. 1. vydání. Praha: FCC Public, 2004. 286 s. ISBN 80-86534-06-5.
- PAULOVÁ, L., PAVLOVÁ, E., OLŠAN, V., JAISAMUT, K., LIPOVSKÝ, J., RYCHTERA, M., MELZOCH, K. Využití odpadních materiálů na bázi lignocelulózy jako suroviny pro výrobu bioetanolu. *Chemagazín*, 2010, roč. 20, č. 5, s. 16–18.
- PAVELKOVÁ, E., ŽIVĚLOVÁ, I. Posouzení ekonomické efektivity výroby elektrické energie z odpadního tepla. *Elektrorevue*, 2011, roč. 13, č. 2, s. 16-1–16-8.

- PETŘÍKOVÁ, V. *Pěstování rostlin pro energetické účely*. Praha: Vlasta Petříková, 2005. 32 s. ISBN 80-239-5497-0.
- PETŘÍKOVÁ, V., SLADKÝ, V., STRAŠIL, Z., ŠAFAŘÍK, M., UŠŤAK, S., VÁŇA, J. *Energetické plodiny*. 1. vydání. Praha: Profi Press, 2006. 127 s. ISBN 80-86726-13-4.
- POHOŘELÝ, M., JEREMIÁŠ, M. Zplyňování biomasy - možnosti uplatnění. *Biom.cz* [online]. 2010-11-24 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zplynovani-biomasy-moznosti-uplatneni>.
- SLADKÝ, V. Přeměna organického odpadu na motorová paliva. *Biom.cz* [online]. 2009-08-24 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/premena-organickeho-odpadu-na-motorova-paliva>. ISSN 1801-2655.
- SLEJŠKA, A., VÁŇA, J. Expertní systém pro organické hnojení na zemědělské půdě: Jaké jsou možnosti využití materiálů, kterými disponují?. *Biom.cz* [online]. 2006-09-14 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/produkty-a-sluzby/expertni-systemy/jake-jsou-moznosti-vyuziti-materialu-kterymi-disponuji>. ISSN 1801-2655.
- STUPAVSKÝ, V. Kapalná biopaliva - cíle a perspektivy. *Biom.cz* [online]. 2008-08-04 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kapalna-biopaliva-cile-a-perspektivy>. ISSN 1801-2655.
- ŠEJVL, R. Energie z odpadů II. *Biom.cz* [online]. 2013-04-01 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/energie-z-odpadu-ii>. ISSN 1801-2655.
- VÁŇA, V. Problematika pěstování konopí setého v oblasti severozápadních Čech. *Biom.cz* [online]. 2007-05-22 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/problematika-pestovani-konopi-seteho-v-oblasti-severozapadnich-cech>. ISSN 1801-2655.
- WEGER, J., HAVLÍČKOVÁ, K. Zásady a pravidla pěstování rychle rostoucích dřevin (r.r.d.) ve velmi krátkém obmýtí. *Biom.cz* [online]. 2002-01-18 [cit. 2016-01-09]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zasady-a-pravidla-pestovani-rychle-rostoucich-drevin-r-r-d-ve-velmi-kratkem-obmyti>. ISSN 1801-2655.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

BPS	bioplynová stanice
Ca	vápník
CCM	corn cob mix
CO ₂	oxid uhličitý
ČR	Česká republika
ERÚ	Energetický regulační úřad
H ₂	vodík
H ₂ O	voda
H ₂ S	sulfan
CH ₄	methan
CH ₃ COOH	kyselina octová
JZD	jednotné zemědělské družstvo
K	draslík
K ₂ O	oxid draselný
KJ	kogenerační jednotka
MEŘO	methylester řepkového oleje
MgO	oxid hořečnatý
N, N ₂	dusík
NH ₃	amoniak
O ₂	kyslík
ORC	organický Rankinův cyklus
P	fosfor
P ₂ O ₅	oxid fosforečný
THC	tetrahydrokanabinol
VOD	výrobně obchodní družstvo

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek č. 1</i>	<i>Obecné schéma procesu fotosyntézy.....</i>	<i>4</i>
<i>Obrázek č. 2</i>	<i>Rostliny konopí setého v období srpna s detailem sedmičetného listu.....</i>	<i>8</i>
<i>Obrázek č. 3</i>	<i>Rostliny triticales v období žluté zralosti.....</i>	<i>10</i>
<i>Obrázek č. 4</i>	<i>Rostlina topinamburu hlíznatého v období květenství s detailem květu.....</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek č. 5</i>	<i>Zralý porost šťovíku krmného připravený ke sklizni (polovina srpna).....</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek č. 6</i>	<i>Ozdobnice čínská v sedmém roce růstu.....</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek č. 7</i>	<i>Typický porost ovsíku vyvýšeného a lata rostliny s osinatými semeny.....</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek č. 8</i>	<i>Vzrostlá lesknice rákosovitá na začátku června s detailním záběrem laty.....</i>	<i>20</i>
<i>Obrázek č. 9</i>	<i>Sveřep bezbranný s detailem květenství.....</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek č. 10</i>	<i>Ukázka plantáže vzrostlých topolů (vlevo) a vrb (vpravo).....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek č. 11</i>	<i>Ukázka těžby topolů pomocí motorové pily a následné štěpkování.....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek č. 12</i>	<i>Porost kukuřice s detailem na palici se zrny v plné zralosti (měsíc září).....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek č. 13</i>	<i>Fermentační jímky a budova kogenerace BPS ve VOD Jetřichovec.....</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek č. 14</i>	<i>Obecné schéma bioplynové stanice.....</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek č. 15</i>	<i>Konkrétní složení vstupního materiálu do BPS Jetřichovec v roce 2015.....</i>	<i>41</i>

10 SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka č. 1</i>	<i>Způsoby využití biomasy pro energetické účely.....</i>	<i>6</i>
<i>Tabulka č. 2</i>	<i>Rozdělení vybraných energetických plodin pěstovaných v ČR.....</i>	<i>7</i>
<i>Tabulka č. 3</i>	<i>Přehled využívaných částí rostlin pro energetiku a jejich průměrné výnosy... </i>	<i>23</i>
<i>Tabulka č. 4</i>	<i>Parametry kukuřice pěstované k energetickým účelům.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabulka č. 5</i>	<i>Průměrné výnosy některých energetických hybridů kukuřice.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabulka č. 6</i>	<i>Hodnoty spalného tepla sušiny vybraných energetických rostlin.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka č. 7</i>	<i>Produkce ethanolu pro jednotlivé plodiny.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabulka č. 8</i>	<i>Výnosy biooleje u vybraných rostlin.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabulka č. 9</i>	<i>Složení bioplynu.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka č. 10</i>	<i>Specifikace kogeneračních jednotek.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabulka č. 11</i>	<i>Přehled výroby elektrické energie a utržených zisků za rok 2015.....</i>	<i>43</i>