

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Zemědělská fakulta

Studijní program: B4131 Zemědělství
Studijní obor: Trvale udržitelné systémy hospodaření v krajině
Katedra: Katedra rostlinné výroby a agroekologie
Vedoucí katedry: prof. Ing. Vladislav Čurn, Ph.D.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Čirok jako energetická plodina

Sorghum as an energy crop

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Jana Pexová Kalinová, Ph.D.

Autor:

Renata Cibulková

České Budějovice, duben 2012

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Zemědělská fakulta
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Renata CIBULKOVÁ**
Osobní číslo: **Z09252**
Studijní program: **B4131 Zemědělství**
Studijní obor: **Trvale udržitelné systémy hospodaření v krajině**
Název tématu: **Čirok jako energetická plodina**
Zadávatel katedra: **Katedra rostlinné výroby a agroekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je formou literárního přehledu shrnout informace z pohledu energetického využití o vlastnostech čiroku, produkci, energetické výtěžnosti, technologiích pěstování a zpracování, možnostech a stavu využití čiroku ve světě i v ČR.

Úlohou autora bude shromáždit dostupné informace na dané téma prostřednictvím přístupných literárních zdrojů - např. knihovní fond ČR, mezinárodní elektronické databáze vědeckých publikací (Web of Science, Scopus aj.), on-line vědecké časopisy s volným přístupem atd. V závěru práce bude prezentováno vlastní hodnocení a názor autora na stav problematiky a perspektiva dalšího vývoje v pěstování čiroku jako energetické plodiny.

Rozsah grafických prací: 5 stran
Rozsah pracovní zprávy: 35 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam odborné literatury:


- Šimon J., Stražil Z., (2000): Perspektivy pěstování plodin pro nepotravinářské účely. Praha: ÚZPI, 50 s.
Usťák S. (2006): Energetické plodiny. Profi Press, Praha. 127 s.
KTBL 2006 Energiepflanzen: Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus Hrsg. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Potsdam-Bornim, Darmstadt, 372s.
Deublein D., Steinhauser A., (2011): Biogas from Waste and Renewable Resources, Wiley-VCH, 572s.
Cushion E., Whiteman A., Dieterle G.(2009): Bioenergy development: issues and impacts for poverty and natural resource management. World Bank Publications, 249s.
Dendy D. A.V. (1995): Sorghum and millets : chemistry and technology, AACC USA, 405s.
Časopisy Biom, Úroda aj.
Databáze Web of Science, Scopus aj.

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jana Pexová Kalinová, Ph.D.
Katedra rostlinné výroby a agroekologie

Datum zadání bakalářské práce: 7. ledna 2011
Termín odevzdání bakalářské práce: 15. dubna 2012


prof. Ing. Milošlav Šoch, CSc.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13 ①
370 05 České Budějovice


prof. Ing. Vladislav Čurn, Ph.D.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 7. ledna 2011

Prohlášení:

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Čirok jako energetická plodina“ jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

České Budějovice, 13. duben 2012

.....
Renata Cibulková

Poděkování:

Děkuji své vedoucí práce doc. Ing. Janě Pexové Kalinové, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a připomínky při zpracování této práce. Také bych tímto chtěla poděkovat své rodině a přátelům za psychickou podporu a trpělivost.

ABSTRAKT

Čirok, jedna ze světově nejvýznamnějších polních plodin, je nejčastěji využíván pro potravinářské či krmné účely. Cílem této práce je formou literárního přehledu shrnout informace o vlastnostech čiroku z pohledu energetického využití, energetické výtěžnosti, technologii pěstování pro energetické účely, možnostech využití čiroku pro energetické účely a stavu ve světě i v ČR.

V poslední době je čirok zkoumán jako surovina pro všechna odvětví energetického průmyslu a to z důvodu široké škály potencionálních produktů jako je etanol, vodík, metan, lipidy, aceton, butanol a kyselina mléčná. Díky poměrně vysokým výnosům fytomasy lze čirok využít jako surovinu pro přímé spalování. Pro daný směr využití je rozhodující složení jednotlivých druhů čiroku, které může být výrazně ovlivněno agrotechnikou a klimatickými podmínkami pěstování. Významnou úlohu pro zvýšení produkce a využitelnosti této plodiny ve všech klimatických podmínkách má šlechtění.

Klíčová slova: biomasa, čirok, botanická charakteristika, agrotechnika, energetické využití, spalování, bioetanol, bioplyn, bionafta

ABSTRACT

Sorghum, one of the world's major cereals, is the most commonly used for food or fodder. The aim of this Bachelor thesis is in a form of literary review to summarize information about the properties of sorghum in view of energy use, energy yields, the cultivation technology for energy purposes, the possibilities of using sorghum for energy purposes and the situation in the world and the Czech Republic.

Recently sorghum has been tested as a raw material for all branches of the energy industry because of the wide range of potential products such as ethanol, hydrogen, methane, lipids, acetone, butanol and lactic acid. Sorghum can be used as biofuels due to the relatively high yields of phytomass. Utilization of individual species of sorghum depends on their chemical composition that can be significantly influenced by climatic conditions and way of cultivation. Crops improvement plays an important role for increasing production and utilization of this cereal in all climatic conditions.

Keywords: biomass, sorghum, botanical characteristics, agricultural engineering, energy recovery, incineration, bioethanol, biogas, biodiesel

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	CÍL PRÁCE	12
3	LITERÁRNÍ PŘEHLED	13
3.1	Botanická klasifikace <i>Sorghum Vulgare Adams</i>	13
3.2	Původ a rozšíření čiroku	14
3.3	Botanická charakteristika	14
3.3.1	Morfologické vlastnosti	14
3.3.2	Růstové fáze	16
3.4	Klasifikace v zemědělské praxi	17
3.5	Šlechtění a povolené odrůdy	19
3.6	Agrotechnika	20
3.6.1	Požadavky na půdně – klimatické podmínky	20
3.6.2	Příprava půdy	20
3.6.3	Setí	21
3.6.4	Výživa a hnojení	22
3.6.5	Ošetřování během vegetace	22
3.6.6	Sklizeň a posklizňová úprava	22
3.7	Energetické využití čiroku	24
3.7.1	Spalování biomasy	24
3.7.1.1	Suroviny pro spalování	24
3.7.1.2	Úprava surovin pro spalování	25
3.7.1.3	Proces spalování	26
3.7.1.4	Energetický obsah čiroku	26
3.7.2	Fermentace	29
3.7.2.1	Bioetanol	29
3.7.2.2	Bioplyn	37
3.7.2.1	Vodík	39
3.7.2.2	Bionafta	39

3.8	Stav využití čiroku pro energetické účely v ČR a ve světě	39
3.9	Ekonomické zhodnocení pěstování čiroku	41
3.10	Legislativa	41
3.11	Dotace	43
4	ZÁVĚR	45
5	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	47

1 ÚVOD

20. století se stalo vrcholem využívání fosilních paliv neboli nerostných surovin, ze kterých se daří získávat energii. Patří mezi ně především ropa, zemní plyn a uhlí. Bohužel tento relativně pohodlný zdroj energie má dost značné nevýhody. Jednou z nich je nenávratná vyčerpateľnost těchto paliv a je jisté, že jednou v budoucnu vytěžena budou. Dalším negativem a v dnešní době dost žhavým tématem je navyšování koncentrace oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů do atmosféry, což podle některých zdrojů má souvislosti s globálním oteplováním a klimatickými změnami. Globální změny klimatu se projevují zejména tím, že dochází k vysušování půdy, mění se rozložení srážek během roku a tím dochází ke zvýšené erozi. International Water Managment Institute (IWMI) varuje, že do roku 2025 bude 25 % světové populace vystavena silnému nedostatku vody (ANONYM 6 - 2011).

Jedním z řešení těchto závažných problémů je omezování využití fosilních paliv a jejich nahrazování obnovitelnými zdroji energie. Původcem velké většiny těchto zdrojů je sluneční záření. Tuto energii ze slunce je možné využít přímo k ohřevu vody, vzduchu, výrobě elektrické energie přes fotovoltaiku nebo nepřímo přes koloběh vody v přírodě a cirkulaci vzduchu pomocí vodních a větrných elektráren.

Sluneční záření též umožňuje fotosyntézu zelených rostlin, tudíž je možné také tuto energii využít při pěstování rostlin za účelem produkce fytomasy. Samozřejmě, že i při získávání energie z fytomasy, např. při jejím spalování vzniká oxid uhličitý, ale nedochází k jeho navyšování, protože rostliny ho při svém růstu odebírají z ovzduší. Během pěstování energetické fytomasy tudíž dochází k významnému vázání CO_2 z atmosféry.

Dalšími pozitivy při energetickém využívání fytomasy je využití nepotřebné půdy pro výrobu potravin, snížení erozí a úniků nitrátů na nevyužitých půdách, vytvoření nových pracovních příležitostí, významné finanční úspory a nezávislost na dovážených fosilních palivech.

Pro výrobu energie se dá využít jak zbytková biomasa (rostlinné odpady, lesní a těžební zbytky, organické odpady z průmyslových výrob, odpady ze živočišné výroby, komunální organické odpady), tak záměrně produkovaná biomasa (jednoleté, vytrvalé byliny, rychle rostoucí dřeviny). Biomasa je zdroj, který oproti jiným obnovitelným zdrojům lze konzervovat a používat jej v době, kdy je potřeba. Volba druhu energetické rostliny je závislá na mnoha faktorech, např. druhu půdy, způsobu využití, technologii pro pěstování a sklizeň apod.

Jedním z potenciálních zdrojů získávání energie z fytomasy lze označit plodinu rodu *Sorghum*, jež je předmětem této práce.

2 CÍL PRÁCE

Cílem práce je formou literárního přehledu shrnout informace o vlastnostech čiroku z pohledu energetického využití, energetické výtěžnosti, technologii pěstování a zpracování pro energetické účely, možnostech využití čiroku pro energetické účely a stavu ve světě i v ČR.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Botanická klasifikace *Sorghum Vulgare* Adams

Čirok poprvé popsal Linné v roce 1753 pod názvem *Holcus*. Moench v roce 1794 oddělil rod čiroku z rodu *Holcus* a vytvořil pojmenování *Sorghum bicolor*, jež se používá do současnosti. Všechna další označení jsou brána jako synonymum pro *S. bicolor* (L.) Moench. Nejpodrobněji klasifikoval *Sorghum* Snowden v roce 1936. Popsal 31 pěstovaných druhů a 17 druhů divoce příbuzných. Dále popsal 48 různých typů, které jsou dobře definovatelné množstvím zřetelných znaků. V roce 1972 Harlan a de Wet zjednodušili klasifikaci této plodiny (TESHOME a kol. 1997). Rozdělili čirok do pěti základních skupin: *bicolor*, *guinea*, *caudatum*, *jihoafrické kmeny* a *durra* (ANONYM 8 - 2012). I přesto systematika rodu čirok dodnes není dořešena. Dnes se nejčastěji používá klasifikace, kterou zpracovali Wett a Huckbay (1967), která uvádí pouze jeden polymorfní druh *S. bicolor* s dvěma poddruhy, několika varietami a řadou forem (KÁRA a kol. 2005). V tabulce č.1 je uvedena taxonomie druhu *Sorghum bicolor*.

Tab. č.1 *Sorghum bicolor* (ANONYM 9 - 2012)

Podříše	Zelené rostliny	<i>Viridiplantae</i>
Nezařazeno	Streptofyty	<i>Streptophyta</i>
Nadoddělení	Semenné rostliny	<i>Spermatophyta</i>
Oddělení	Krytosemenné	<i>Magnoliophyta</i>
Třída	Jednoděložné	<i>Liliopsida</i>
Podtřída		<i>Commelinids</i>
Řád	Lipnicotvaré	<i>Poales</i>
Čeleď	Lipnicovité	<i>Poaceae</i>
Podčeleď	Prosovité	<i>Panicoidae</i>
Kmen	Vousatkovité	<i>Andropogoneae</i>
Rod	Čirok	<i>Sorghum</i>
Druh		<i>Sorghum bicolor</i>

3.2 Původ a rozšíření čiroku

Historické záznamy a archeologické údaje nejsou schopny jasně udat původ a domestikaci čiroku. Podle N. I. Vavilova (1926) pochází ze tří genových center, východoasijského, indického a afrického (KÁRA a kol. 2005). Také většina literatury uvádí původ čiroku ze severovýchodní Afriky, kde byl důležitou plodinou již v době kamenné jako vysoce hodnotný zdroj potravy. Rozvoj a šíření je pak možné připsat pohybu domorodých kmenům a afrických otroků, kteří přenesli semena s sebou do Indie, Číny a Ameriky. První známý záznam o čiroku ve Spojených státech pochází z roku 1757, ve kterém Ben Frenklin psal o jeho použití při výrobě košťat (ANONYM 10 - 2012). Dnes je čirok v teplejších klimatických oblastech pěstován po celém světě pro všestranné využití. Tyto rostliny vytvářejí za vhodných podmínek dostatek fytohmoty, která může být použita vedle jiných možností také k energetickému využití (spalování, bioplyn, etanol) (KÁRA a kol. 2005).

3.3 Botanická charakteristika

Čiroky vytváří velmi mnoho forem od jednoletých po vytrvalé, jež mají široké uplatnění jak v potravinářském, krmivářském či technickém využití, tak i jako energetická plodina.

3.3.1 Morfologické vlastnosti

Morfologická stavba všech forem je velmi podobná.

Kořenovou soustavu mají silně vyvinutou a u většiny odrůd jsou vytvořeny též tzv. vzdušné kořeny, které prorůstají do půdy a slouží jednak k upevnění rostliny v zemi a jednak k přijímání vody ve formě rosy. Tyto kořeny se vytvářejí většinou na prvním, méně často na druhém kolénku stébla. Vegetativní orgány a kořenová soustava jsou velmi podobné jako u kukuřice (KÁRA a kol. 2005).

Stéblo je silné, kolénky rozdělené na jednotlivé články, jejichž počet závisí na odrůdě a délce vegetace. Stébla jsou různě zbarvena a dosahují různých výšek, obvykle 1,5 – 5,5m (MOUDRÝ, STRAŠIL 1999). Uvnitř je vyplněno dřevem, která stéblo mechanicky zpevňuje. Do doby kvetení je dřevina ve stéble šťavnatá a sladká, při dozrání vysychá (HERMUTH 2010).

Čepel **listu** může být 40 – 100 cm dlouhá, 4 – 10 cm široká a je pokryta slabou vrstvou vosku (KÁRA a kol. 2005). Důležitým rozeznávacím znakem čiroků je zbarvení středního nervu na listu. Mladé listy mohou mít antokyanový nádech (SKLÁDANKA 2006).

Květenstvím je lata různého tvaru a velikosti. Zrnový čirok mívá často kompaktní latu se zkrácenými hustými větvemi a velkými klásky. Technický čirok má 0,8 m i více dlouhou latu s pružnými větvemi. Čirok cukrový a súdánská tráva mívají různě hustou, často volnou rozkladitou latu. Klásky jsou jednokvěté, seskupené po 2-3-4 na stopkách druhotných větvíček (MOUDRÝ, STRAŠIL 1999).

Zrno čiroku může být pluchaté nebo částečně obnažené, případně zcela nahé (SKLÁDANKA 2006). Velikost, tvar a barva zrn čiroků je variabilní – kulaté, vejčité, srdčité, oválné, bílé, krémové, žluté, růžové, hnědé nebo fialové a podle obsahu a poměru bílkovin ke škrobu sklovité až moučné. HTS se pohybuje v rozmezí 10-70g (MOUDRÝ, STRAŠIL 1999).

Na obrázku č.1 je znázorněna anatomie čiroku.

Obr. č.1 Anatomie čiroku (ANONYM 13 - 2012)

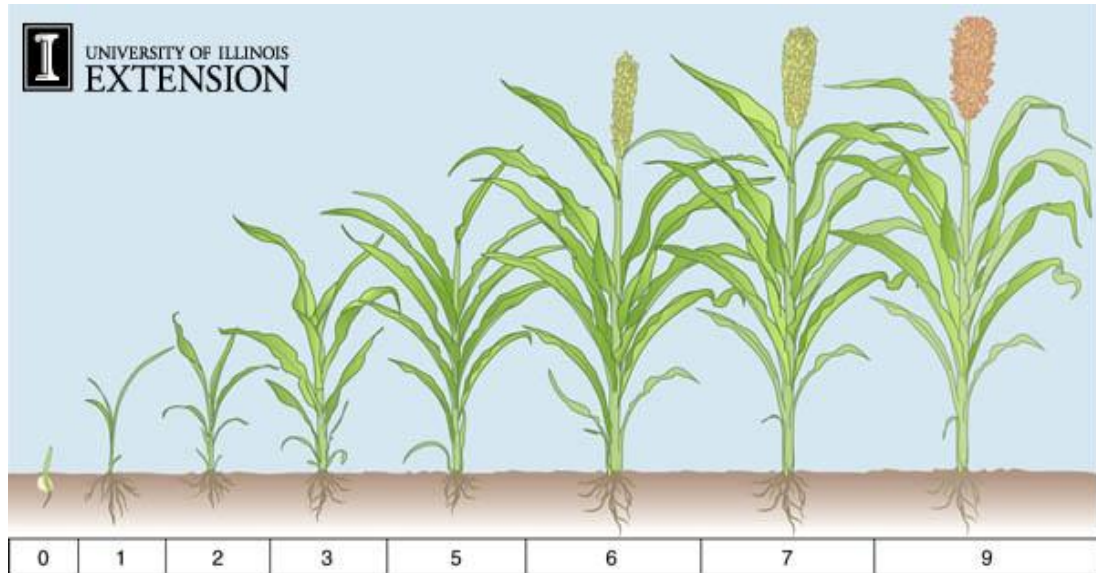


- A lata
- B listy
- C stonek
- D květe
- E kořen
- F zrno

3.3.2 Růstové fáze

Obrázek č. 2 znázorňuje jednotlivá růstová stádia čiroku dle BBCH stupnice.

Obr. č. 2 - Růstové fáze čiroku (ANONYM 7 - 2011)



- **stádium 0 = klíčení** – 3 – 10 dní po setí – počátek bobtnání, kořinek vystupuje ze semene, klíčení a růst je závislý na teplotě a vlhkosti půdy, hloubce setí, druhu a kvalitě semena, koleoptile je vidět na povrchu půdy, na špičce koleoptile je již viditelný list
- **stádium 1 = vývoj listů** – 10 dní po klíčení – tato fáze opět závisí na teplotě, první list vystupuje z koleoptile, vývoj dalších listů pokračuje, na konci tohoto stádia je již 9 a více listů rozvinutých
- **stádium 2 = odnožování** – 3 týdny po klíčení – počátek odnožování – v této fázi se velmi rychle vyvíjí kořenový systém a hromadí se v rostlině sušina
- **stádium 3 = sloupkování** – 30 dní po klíčení – hlavní odnož i vedlejší odnože se zřetelně napřimují a počínají se prodlužovat, v této fázi se mění vegetativní období na reprodukční, rostliny se stávají konkurenceschopnými
- **stádium 4 = naduření listové pochvy** - v této fázi jsou všechny listy s výjimkou posledních 3 – 4 listů plně vyvinuté a představují přibližně 80% z celkové možné listové plochy
- **stádium 5 = metání** - v této fázi jsou listy plně vyvinuté, lata je v plné velikosti a je ohraničena pochvou praporcového listu. Rychlý růst a příjem živin pokračuje

- **stádium 6 = kvetení** – tato fáze obvykle představuje dvě třetiny doby mezi výsadbou a fyziologickou zralostí, vlhkostní stres může způsobit špatné plnění laty
- **stádium 7 = tvorba zrn** - v této fázi má zrno konzistenci těsta, přibližně polovina suché hmotnosti semene se hromadí mezi 6. a 7. fází
- **stádium 8 – zrání** - v této fázi má zrno přibližně tři čtvrtiny suché hmotnosti, při vlhkostním stresu může rostlina předčasně dosáhnout fyziologické zralosti z následkem lehkého deformovaného zrna
- **stádium 9 = stárnutí** – tato fáze se vyznačuje přítomností tmavé skvrny na zrnu, vlhkost zrna při fyziologické vlhkosti závisí na odrůdě, většinou se pohybuje 25% - 35% (ANONYM 7 - 2011)

3.4 Klasifikace v zemědělské praxi

Podle hlavních směrů využití se v zemědělské praxi využívá klasifikace dle MANSFELDA (1952) dělená do čtyř variet, jež jsou znázorněny na obrázcích č. 3, 4, 5 a 6:

Obr. č.3 Čirok zrnový (ANONYM 12- 2011)



Čirok zrnový (*Sorghum vulgare* varieta *eusorghum*)

Pěstuje se převážně na zrno, jež je využíváno jak pro lidskou výživu, tak i jako krmivo. Obilky mají vysoký obsah škrobu a bílkovin. Je vhodný pro stravu celiaků z důvodu absence lepku. Okrajově se pěstuje i na zelené krmení. Největší význam má v oblastech, kde nahrazuje kukuřici. Většinou se jedná o formy nižšího vzrůstu.

Obr. č.4 Čirok metlový (ANONYM 12 - 2011)



Čirok technický - metlový (*Sorghum vulgare varieta Technicum*)

Vyznačuje se pružnou latou, ze které se vyrábějí košťata, štětky či kartáče. Získané zrno tohoto čiroku lze zkrmovat jako vedlejší produkt.

Obr. č.5 Čirok cukrový (ANONYM 12 - 2011)



Čirok cukrový (*Sorghum vulgare varieta Saccharatum*)

Stébla obsahují směs mono a disacharidů. Lisuje se z nich šťáva, která může být použita k výrobě sirupu, melasy, cukru a díky vynikajícímu potenciálu pro kvašení také k výrobě etanolu. Má také význam jako krmná plodina, buď jako chutné krmivo v čerstvém stavu nebo se konzervuje silážováním. V současné době začíná být zajímavý i k produkci bioplynu. Pro spalování je čirok cukrový méně vhodný,

neboť vlivem svého značného obsahu cukru zůstává až do sklizně „vodnatý“ a proto se i špatně dosouší (PETŘÍKOVÁ 2004).

Obr. č.6 Čirok súdánský (ANONYM 12 - 2011)



Čirok súdánský (*Sorghum vulgare varietal Sudanense*)

Vyznačuje se silnou tvorbou odnoží a tudíž celkově bohatou nadzemní biomasou. Je velmi vhodná pro energetické využití i pro pěstování na zelenou hmotu, která se přímo zkrmuje nebo silážuje. Zkrmovat je lepší až po zvadnutí píce z důvodu nebezpečí tvorby kyanovodíku (SKLÁDANKA 2006). Súdánská tráva je výnosná pícnina s vysokým

obsahem bílkovin.

3.5 Šlechtění a povolené odrůdy

V úředním věstníku Evropské unie Evropská komise uvádí ve společném katalogu odrůd:

- 176 dostupných odrůd a hybridů druhu *Sorghum bicolor* (L.) Moench
- 18 dostupných odrůd a hybridů druhu *Sorghum sudanense*
- 42 dostupných odrůd a hybridů získaných mezidruhovým křížením druhů *Sorghum bicolor* (L.) Moench a *Sorghum sudanense*

Registrace odrůd je základním předpokladem uznávání a uvádění do oběhu rozmnožovacího materiálu odrůd důležitých zemědělských druhů (ÚKZÚZ 2012).

V ČR je v současné době 7 registrovaných odrůd *Sorghum bicolor* (L.) Moench pod uvedenými názvy:

- KS H6022 – KWS Tarzan
- KS H8701 – KWS Zerberus
- KS H8901 – KWS Freya
- 449 (Holubec) – Ruzrok
- DSM 13-950 – Sweet Caroline
- DSM 14-535

Farmsorgho – Farmsorgho

Čiroky jsou v současné době vzhledem ke svému potenciálu jednou z nejintenzivněji šlechtěných plodin na světě. Vnitrodruhovým a zvláště mezidruhovým křížením lze podpořit fyzikální a chemické vlastnosti kladně ovlivňující nejen kvalitu a výnos biomasy, ale také odolnost a přizpůsobivost pro širokou škálu environmentálních podmínek. Příkladem je kříženec čiroku a súdánské trávy Hyso 2, který nemá příliš vyhraněné nároky na teplotu a proto dosahuje dobrých výnosů i ve středních polohách (PETŘÍKOVÁ a kol 2006).

3.6 Agrotechnika

3.6.1 Požadavky na půdně – klimatické podmínky

Čirok patří k teplomilným plodinám a je odolný vůči suchu. Ve srovnání s kukuřicí nastupuje stres z rostoucích teplot mnohem později. Listy jsou tolerantnější vůči horku - na dlouhodobé horko a sucho reagují pouze vadnutím a ztuhlostí způsobenou vysycháním. Po srážkách většinou listy opět zregenerují (KOUBOVÁ 2009). Tato plodina má jednu z nejlepších sazeb oxidu asimilace ($50 \text{ g/m}^2/\text{den}$), což umožňuje rychlý růst a lepší využití čistého CO_2 (PRASAD a kol. 2007). Čirok je rostlina typu C_4 , extrémně efektivní ve využívání vody, oxidu uhličitého, živin a slunečního záření. Vyžaduje jednu třetinu vody ve srovnání s cukrovou třtinou a 80 až 90% ve srovnání s kukuřicí (ALMODARES, HADI 2009). Má koeficient transpirace 200 litrů na 1kg sušiny (PETŘÍKOVÁ a kol. 2006). Oproti kukuřici je to plných 100 litrů méně (PETŘÍKOVÁ 2004). Pokud se pěstuje na zrno, vyžaduje sumu teplot 2500°C . Při pěstování na biomasu mohou být sumy teplot o něco nižší. Je nenáročný na půdu a má schopnost růst v podmínkách, kde se ostatním obilninám nedaří a to i na půdách částečně zasolených. Kromě environmentálních výhod je čirok velmi variabilní z hlediska genetických zdrojů, což usnadňuje šlechtění a vývoj nových odrůd přizpůsobených jednotlivým regionům na celém světě (ZANG a kol. 2010).

3.6.2 Příprava půdy

Příprava půdy je obdobná jako u kukuřice. Čiroky vyžadují dostatečně hlubokou orbu s kvalitně zapraveným organickým hnojivem. Při jarním zpracování půdy je vhodné použít kombinátory pro sloučení pracovních operací (KÁRA a kol. 2005).

3.6.3 Setí

Čirok se může zařadit do osevního postupu jako kukuřici. Vhodnými předplodinami jsou okopaniny, luskoviny a předplodiny, které nezanechávají zaplevelené pozemky. Lze jej zařadit i po ozimých obilninách nebo luskoobilní směsce. Dobře snáší i pěstování několik let po sobě. Po čiroku pěstovaném pro energetické využití a sklizeném koncem zimy lze pěstovat pouze jařiny, především obilniny (KÁRA a kol. 2005).

Čirok se vysévá koncem dubna nebo začátkem května. Pro klíčení potřebuje semeno minimální teplotu půdy 12 – 15°C, jinak porosty vzcházejí pomalu, nerovnoměrně a jsou často zaplevelené. Na nízké teploty jsou pak čiroky citlivé i ve všech fázích vývoje. Při pěstování na zeleno se seje do užších řádků 15 – 40 cm, 3-5 cm hluboko a výsevek činí 30-50 kg/ha (20 – 30 rostlin/ha) (PETŘÍKOVÁ a kol. 2006). Podle pokusů VÚRV uvedených v tab. č. 4, má výsevek průkazný vliv na výnosy fytomasy. Vyšších výnosů bylo dosaženo při výsevku 60 klíčivých semen na 1m² v porovnání s výsevkem 40 klíčivých semen na 1m². Po setí se pozemek uválí.

Společnost Seed Service zabývající se množением certifikovaného osiva kulturních plodin a trav doporučuje výsevky dle využití jednotlivých druhů čiroku (tab. č. 3).

Tab č. 3 - Rozdělení čiroků a jejich výsevek podle možného využití v podmínkách ČR (ANONYM 17 - 2012)

Druh čiroku dle použití	Řádky (cm)	Výsevek (kg/ha)	Využití
Čirok zrnový	30 – 45 (75)	9 – 13	Jednosečné (přímá sklizeň), zrno, siláž / nižší výnos biomasy
Čirok cukrový	40 – 75	6 – 10	Jednosečné, siláž, vysoký výnos biomasy, nízká sušina a podíl zrna
Čirok kombinovaný	30 – 75	9 – 13	Jednosečné, siláž s vysokým podílem zrna
Súdánská tráva	nahusto	20 – 30	Pastva, senáž, seno/ i jako následná plodina

Čirok X Súdánská tráva	0 – 75	15 – 30	Vícesečné/jednosečné, pastva, senáž, seno, siláž / i jako následná plodina
------------------------	--------	---------	--

3.6.4 Výživa a hnojení

Pozemek se však musí intenzivněji hnojit, jelikož čirok odčerpává poměrně velké množství živin. Hnojení je shodné jako u kukuřice. Lze využít organická hnojiva, doporučují se dávky 30-50 t/ha chlévského hnoje. Průmyslová hnojiva jsou doporučována v dávkách 100-150 kg N, 30-70 kg P, 60-150 kg K na hektar (PETŘÍKOVÁ a kol. 2006). Opět podle pokusů VÚRV uvedených v tab. č. 4, čirok velmi příznivě reaguje na stupňované dávky dusíku. V pokusech došlo ke zvýšení výnosu fytomasy v průměru až o 17%.

3.6.5 Ošetřování během vegetace

Počáteční růst porostu je velmi pomalý a je nutné udržet bezplevelný stav v prvních dvou měsících růstu. U mladých porostů je důležitým zásahem rozrušovat půdní škraloup a to vláčením lehkými branami, později plečkováním. V samotném boji proti plevelům je postřik herbicidy v porovnání s plečkováním účinnější (KÁRA a kol. 2005). Z chorob jsou čiroky nejvíce náchylné na sněti, proto je vhodné používat mořená osiva (STRAŠIL 2011).

3.6.6 Sklizeň a posklizňová úprava

Při sklizni biomasy určené pro energetické účely je předpokladem úspěšné produkce dodržení správného termínu sklizně a úprava suroviny do skladovatelného stavu. Technologické postupy sklizně a úprav biomasy jsou odvozeny z klasických postupů u plodin pro krmivářské, potravinářské či průmyslové účely. Vlastní způsob a termín sklizně závisí na směru pěstování.

U biomasy sklizené na spalování je důležitým parametrem obsah sušiny. Na podzim čirok obsahuje více než 50% vody a proto je vhodnější ho sklízet samohodnými sklízecími řezačkami koncem zimy, kdy mráz rostliny částečně vysuší. Bohužel přes zimní období dochází v důsledku nepříznivých podmínek k lámání rostlin a tím i k vysokým ztrátám biomasy, které dosahují až 50% v porovnání s podzimním termínem sklizně (PETŘÍKOVÁ a kol. 2006).

Tab. č. 4 – Průměrné výnosy sušiny fytohmoty čiroku podle variant při podzimním termínu sklizně na sledovaných stanovištích za období 1993 – 2004 (t/ha) (PETŘÍKOVÁ a kol. 2006).

Stanoviště/varianta	Ruzyně	Troubsko	Lukavec	Chomutov	Průměr
N0V1	10,152	26,156	2,576	10,621	12,376
N1V1	11,113	26,968	4,576	13,846	14,126
N2V2	11,554	27,786	5,907	12,082	14,332
N0V2	10,918	26,106	2,006	9,394	12,106
N1V2	12,297	27,344	7,571	9,243	14,114
N2V2	12,866	28,000	8,184	11,610	15,165
Průměr N0	10,535	26,131	2,291	10,008	12,241
Průměr N1	11,705	27,156	6,073	11,545	14,120
Průměr N2	12,210	27,893	7,045	11,846	14,749
Průměr V1	10,940	26,970	4,353	12,183	13,611
Průměr V2	12,027	27,150	5,920	10,083	13,795
Průměr variant	11,483	27,060	5,136	11,133	13,703

Poznámky: Hnojení dusíkem v průmyslových hnojivech: N0 = 0, N1 = 60, N2 = 120 kg/ha, předpokládaný počet rostlin na metr čtvereční: V1 = 40, V2 = 60

Čirok na zrno se sklízí sklízecí mlátičkou upravenou na vysoký řez a to v plné zralosti, když jsou zrna vybarvená a lesklá (KÁRA a kol. 2005). Doporučuje se provést dvoufázovou sklizeň, neboť v době žluté zralosti zrn má zelená hmota poměrně vysoký obsah vody (MOUDRÝ, STRAŠIL 1999). Vymláčené zrno je třeba dočistit a dosušit na vlhkost 15°C. Semeno je třeba pečlivě uskladnit, protože velmi snadno plesniví (KÁRA a kol. 2005).

Na bioplyn, tedy na siláž, se čirok sklízí na začátku metání, protože později dřevnatí a špatně obrůstá. Obvykle se sklízí ve dvou sečích, první koncem června a druhá je ve druhé polovině září. Čirok cukrový se sklízí na siláž nebo senáž v mléčně-voskové zralosti. S pozdějším termínem sklizně roste u čiroku cukrového obsah fermentovatelných cukrů, což je významné především pro výrobu etanolu.

3.7 Energetické využití čiroku

Způsob získávání energie je podmiňován fyzikálními a chemickými vlastnostmi biomasy. Způsob využití biomasy závisí na její struktuře a látkovém složení, skladovatelnosti a hlavně obsahu vody. Technologie zpracování se odvíjí od obsahu vody v biomase. Přibližnou hranicí mezi tzv. mokrymi a suchými procesy je právě hodnota 50 % sušiny (MOUDRÝ, STRAŠIL 1999). Rostlinnou hmotu s vyšším obsahem vody je lepší zpracovávat kvašením a naopak látky s nízkým obsahem vody jsou vhodné pro suché procesy.

Způsoby získávání energie z biomasy:

- *termochemická přeměna biomasy (suché procesy)*
 - ✓ pyrolýza – produkce plynu, oleje
 - ✓ zplyňování – produkce plynu
 - ✓ spalování
- *biochemická přeměna biomasy (mokrý procesy)*
 - ✓ metanové kvašení – produkce bioplynu
 - ✓ alkoholové kvašení – produkce etanolu
- *chemická přeměna biomasy*
 - ✓ esterifikace – výroba bionafty a přírodních maziv
- *získávání odpadního tepla při zpracování biomasy (při kompostování, čištění odpadních vod apod.)*

Nejčastěji používanými technologiemi pro zpracovávání energetických technických plodin jsou spalování, alkoholové, metanové kvašení a fyzikálněchemické zpracování (KÁRA a kol. 2004).

3.7.1 Spalování biomasy

3.7.1.1 Suroviny pro spalování

Pro vytápění a výrobu energie jsou významné lignocelulózou rostliny. Do této kategorie se řadí rychle rostoucí dřeviny, obiloviny, traviny a řada dalších energetických plodin. Pro přímé spalování mají význam především rostliny, které vytváří vysoký výnos nadzemní hmoty. Produkce energie je samozřejmě také závislá

na výnosu sušiny vyprodukované fytomasy (PETŘÍKOVÁ a kol. 2006). Z ekonomického hlediska jsou vhodné takové energetické plodiny, jejichž výnosy dosahují více než 15 t sušiny z hektaru (STRAŠIL, ŠIMON 2009).

V tab. č. 5 z pokusů VÚRV jsou uvedeny výnosy sušiny sledovaných genotypů čiroku v našich podmínkách.

Tab. č. 5 – Průměrné výnosy sušiny fytomasy sledovaných genotypů čiroku v průběhu období 1993 až 2004 (t/ha) (PETŘÍKOVÁ a kol. 2006).

Stanoviště/odrůda	Súdánská tráva	Hyso	Čirok zrnový	Čirok cukrový
Ruzyně	9,38	11,928	12,360	8,731
Troubsko	26,660	27,173	31,240	9,327
Lukavec	-	-	21,875	3,293
Chomutov	-	12,776	5,347	7,444
Průměr	18,024	17,292	17,705	7,199

3.7.1.2 Úprava surovin pro spalování

Optimální vlhkost pro spalování u stébelnin je přibližně 15-20%. To znamená, že většinu sklizené fytomasy je nutné dosušet. Je však důležité vědět, že je doporučováno spalovat biopaliva vždy s určitým obsahem vody. Suchý dřevní nebo obilní prach je totiž výbušnina (SLADKÝ 2011).

Aby mohla být biopaliva využitelná pro spalování, jsou nutné jejich tvarové úpravy. U stébelnin je to řezání, lisování a briketování. Tyto způsoby se liší stupněm stlačení a velikostí produktu. Z ekonomického hlediska je oproti volně ložené fytomase vhodnější fytomasa, která je zhutněna do kompaktního tvaru – briket, protože umožňuje lepší manipulaci a další technologické operace. Briketování je uváděno jako nejpoužívanější technologií palivového zhutnění. Při lisování fytomasy do formy briket jsou brikety stlačeny vysokým tlakem do tvaru plného válce, hranolu nebo se středovým odlehčovacím otvorem o vnějším průměru větším než 40 mm, ale menším 100 mm, s měrnou objemovou hmotností kolem 1000 kg.m⁻³ (SLADKÝ a kol. 2002). Výsledkem briketování je briketa, která má menší objem než původní materiál, a tím se získá vyšší hustoty briket (BARTOŠ 2000). PLÍŠTIL (2004) uvádí dvě nejdůležitější mechanické vlastnosti paliv ve formě briket pro čirok.

Sorgum vulgare: Hustota 810 – 870kg.m⁻³
 Síla na porušení 45 – 59 N

Tyto parametry jsou závislé na použitém materiálu, jeho struktuře, obsahu vody a lisovacím tlaku. Jako výsledek měření uvádí, že tato energetická plodina je velice dobře zhutnitelná, má vysokou měrnou hustotu a je za potřebí velké síly na porušení celistvosti briket (PLÍŠTIL 2004).

3.7.1.3 Proces spalování

Spalování je chemický proces rychlé oxidace, kterým se uvolňuje chemická energie vázaná ve spalovaném palivu na energii tepelnou. Jedná se o nejjednodušší metodu pro termickou přeměnu organických (fosilních i obnovitelných) paliv za dostatečného přístupu (zpravidla atmosférického) kyslíku na tepelnou energii. Tepelná energie získaná spalováním se pak využívá pro vytápění a ohřev vody, jiné technologické procesy nebo pro výrobu elektrické energie (KUNC 2008).

Pro spalování biomasy se používají kotle různých velikostí, výkonů a systémů.

3.7.1.4 Energetický obsah čiroku

Energetická hodnota paliv je dána spalným teplem a výhřevností. Spalné teplo je takové množství tepla, které se uvolní dokonalým spálením jednotkového množství paliva. Předpokládá se, že voda, uvolněná spalováním, zkondenzuje a energii chemické reakce není třeba redukovat o její skupenské teplo. Tím se spalné teplo liší od výhřevnosti, kde se předpokládá na konci reakce voda v plynném skupenství. Proto je hodnota spalného tepla vždy větší nebo alespoň rovna hodnotě výhřevnosti (NEJEZCHLEB 2011). Energetický obsah jednotlivých druhů čiroku a jiných plodin je uveden v následujících tabulkách č. 6 a 7.

Tab. č. 6 – Obsah energie ve fytomase některých rostlin rodu čirok (MJ.kg⁻¹sušiny) (STRAŠIL, SKALA 1995)

Fytomasa celých rostlin	MJ.kg ⁻¹	
	celkové sušiny	sušiny bez popelovin
Čirok zrnový	17,633	19,101
Čirok cukrový	17,589	18,637
Hyso	17,738	18,795
Průměr	17,653	18,443

Pozn.: obsah energie = spalné teplo zjištěné na kalorimetru KL-5

Tabulka č. 7: Energetický obsah a energetická produkce jednotlivých druhů rostlinné biomasy (STRAŠIL, ŠIMON 2009)

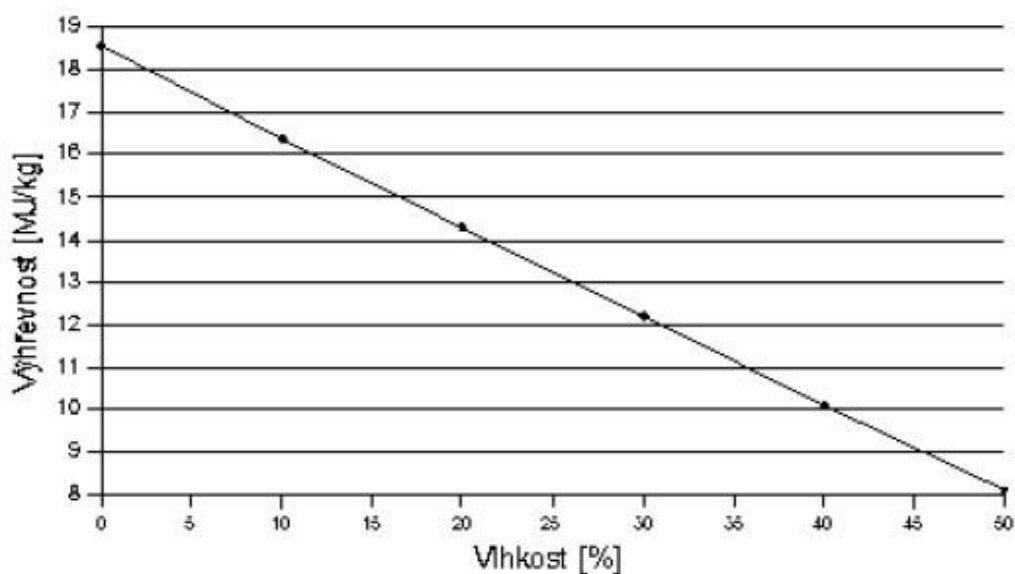
Druh rostl. biomasy	Výhřevnost biomasy při vlhkosti 5% (MJ/kg)	Spalné teplo sušiny biomasy (MJ/kg)	Průměrné výnosy suché biomasy (t/ha)	Energetická produkce 1ha (GJ)
Sláma obilnin	15,5	17,5	4,2	65,1
Sláma řepky olejky	15,3	17,5	3,0	45,9
Celé nadzemní rostliny žita ozimého	15,3	17,6	11,0	168,3
Celé nadzemní rostliny Tritikale	15,5	17,5	12,0	186,0
Čiroky (průměr)	15,3	17,7	8,1*	123,9
Konopí seté	15,5	18,1	7,9*	122,5
Psineček veliký ¹⁾	15,6	17,8	7,7	120,1
Kostřava rákosovitá ¹⁾	15,6	17,5	7,6	118,6
Lesknice rákosovitá ¹⁾	15,5	17,5	6,4	99,4
Ozdobnice čínská ²⁾	16,8	18,1	14,0*	235,2
Křídlatka česká ²⁾	15,3	17,6	10,3*	157,6
Energet. šťovík ²⁾	15,3	18,0	9,0	132,2
Topoly obmytí (průměr)	17,1	19,0	7,1	121,4
Vrby (obmýtí)	17,0	19,7	6,9	117,3

Poznámky:

¹⁾ Výnosy biomasy ve 2. užitkovém roce, ²⁾ Průměr výnosů až 9-letého porostu, *Průměrné výnosy při sklizni na jaře

Výhřevnost biomasy je ovlivňována obsahem vody. Na obrázku č. 7 je znázorněn graf závislosti výhřevnosti biomasy na vlhkosti.

Obr. č. 7. Graf závislosti výhřevnosti biomasy na vlhkosti (BALÁŠ, MOSKALÍK 2009)



K dalšímu negativnímu ovlivnění výhřevnosti dochází při hoření, kde uhlík a vodík jsou částečně okysličený, protože rostliny obsahují 36% chemicky vázaného kyslíku.

Z hlediska spalování fytohmoty je také důležitým faktorem obsah prvků v rostlinách. Při nižším obsahu N ve fytohmotě se při spalování tvoří méně N_{ox} . Výhodou malého obsahu S a Cl je snížení možnosti koroze spalovacího zařízení a pokud je také malý obsah K, Mg apod., tak se snižuje teplota tavení popela. V tabulce č. 8 je z pokusů VÚRV vidět, že obsah jednotlivých prvků klesá stářím rostliny a termínem sklizně, což je výhodné pro samotný proces spalování a tvorbu emisí.

Tab. č. 8 Obsah prvků v rostlinách čiroku v různých termínech sklizně (PETŘÍKOVÁ a kol. 2006)

Termín sklizně	N	P	K	Ca	Mg	S
Podzim	1,018	0,106	0,941	0,298	0,159	0,895
Jaro	0,917	0,098	0,635	0,255	0,110	0,800
Průměr	0,969	0,102	0,788	0,277	0,135	0,848

Poznámka: obsah prvků je uveden v % sušiny

3.7.2 Fermentace

Fermentace je biotechnologický proces, při němž se organické látky postupně přeměňují za účasti mikrobiálních enzymů na jednodušší látky (ANONYM 15 - 2012). Potenciálními surovinami pro bioproceny kvašení jsou na bázi cukru, škrobu a celulózy a proto se i čirok, obzvláště čirok cukrový, zdá být vhodnou plodinou pro získávání energie tímto způsobem.

3.7.2.1 Bioetanol

Jako jednou z možností využití čiroku procesem kvašení se nabízí výroba bioetanolu. Je to termín používaný pro etanol vyrobený technologií alkoholového kvašení z biomasy. V dnešní době totiž poptávka po bioetanolu výrazně vzrůstá a to hlavně v automobilovém průmyslu, jelikož je považován za jedno z nejperspektivnějších paliv snižující produkci skleníkových plynů. Příměs etanolu v palivu způsobuje vyšší efektivnost a čistější životní prostředí (ANONYM 16 - 2012).

Bioetanol je etanol, líh nebo chemicky C_2H_5OH nebo $EtOH$. Bioetanol má vysoké oktanové číslo (108), jež je měřítkem kvality benzínu (BALÁTU 2008).

Etanol se vždy vyráběl a stále vyrábí hlavně z cukrové třtiny či cukrové řepy, jak uvádí tab. č. 9. Tím, že náklady na jejich pěstování neustále rostou, vytváří se podmínky pro zkoumání alternativních zdrojů. Jako velký potenciál pro výrobu etanolu se ukazuje právě čirok cukrový a to hlavně z důvodů nenáročnosti plodiny při pěstování.

Tab. č. 9 Srovnání cukrové třtiny, řepy a sladkého čiroku v Iránu (ALMODARES, HADI 2009)

	Cukrová třtina	Cukrová řepa	Čirok cukrový
stáří rostliny cca	7 měsíců	5 – 6 měsíců	4 měsíce
Veget. období	Jen jedna sezóna	Jen jedna sezóna	Jedna sezóna v mírných a dvě nebo tři sezóny v tropických oblastech
Požadavek na půdu	Dobře roste v propustných půdách	Dobře roste v písčitohlinitých půdách, také	Všechny typy suchých půd

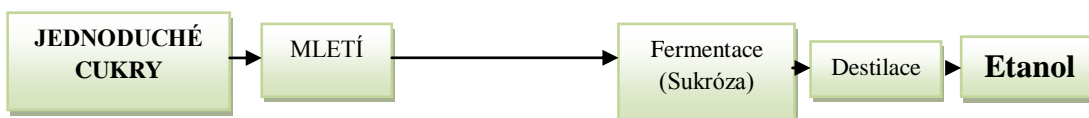
		toleruje zásadité půdy	
Vodní hospodářství	36000 m ³	18000 m ³	12000 m ³
Nároky na pěstování	Dobrá agrotechnika	Vyžaduje více hnojení, střední agrotechnika	Vyžaduje málo hnojiva, malý výskyt škůdců a chorob, nízká agrotechnika
Výnos na hektar	70-80 t	30-40 t	54-69 t
Obsah cukru z hmotnost	10-12%	15-18%	7-12%
Výnos cukru	7-8t/ha	5-6t/ha	6-8t/ha
Produkce etanolu přímo ze šťávy	3000-5000l/ha	5000-6000l/ha	3000l/ha
Nároky na sklizeň	mechanická sklizeň	Velmi jednoduchá, manuální sklizeň	Velmi jednoduchá, jak ruční, tak mechanická sklizeň

Výchozí surovinou pro výrobu bioetanolu je biomasa obsahující jednoduché cukry nebo látky, které lze přeměnit na jednoduché cukry, jako je škrob a celulóza. Jinak řečeno, zdroje sacharidů lze rozdělit do tří hlavních skupin:

1. zdroje jednoduchých cukrů
2. zdroje škrobu
3. zdroje lignocelulózou biomasy

Při výrobě etanolu z těchto uvedených zdrojů je hlavním rozdílem mezi technologickými procesy uvedenými na obr. č. 8, 9, 10 postup získávání zkvasitelných cukrů před fermentací.

Obr. č. 8 : Vývojový přehled s hlavními surovinami a postupy používané pro výrobu etanolu (MUSSATO a kol. 2010).



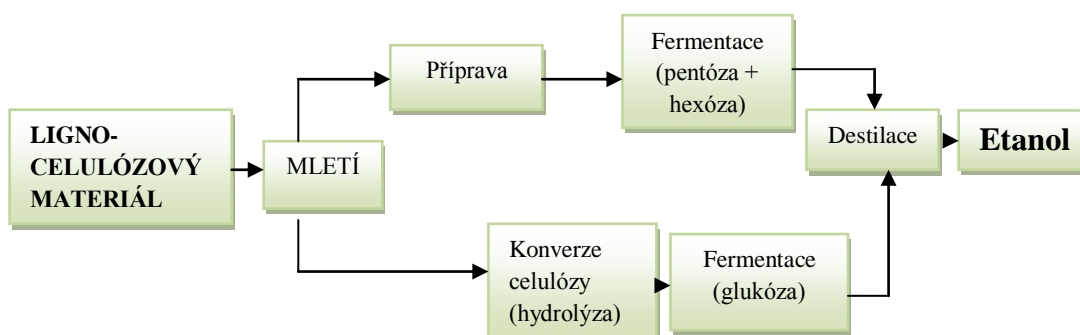
Proces přeměny jednoduchých cukru na etanol je poměrně jednoduchý. Nevyžadují žádnou fázi hydrolýzy, stačí plodiny upravit mletím pro následující extrakci cukrů, tzv. fermentaci. K fermentaci cukrů se používá kvasnic (1 – 2,5 kg na 100l) a kvašení probíhá 50 -70 hodin (MOUDRÝ, STRAŠIL 1998). Destilací při 78°C se pak získává voda a 95% etanol.

Obr. č. 9 : Vývojový přehled s hlavními surovinami a postupy používané pro výrobu etanolu (MUSSATO a kol. 2010).



V procesech, které využívají k výrobě etanolu škrob, je nutné před fermentací fáze zcukření. V tomto kroku je škrob vařením přeměněn na želatinu a předložen enzymatické hydrolýze (MUSSATTO 2010). Ve výpalcích zůstává obsah bílkovin zachován, to znamená, že vedlejší produkt výroby je vysoce hodnotné krmivo (MOUDRÝ, STRAŠIL 1998).

Obr. č. 10 : Vývojový přehled s hlavními surovinami a postupy používané pro výrobu etanolu (MUSSATO a kol. 2010).



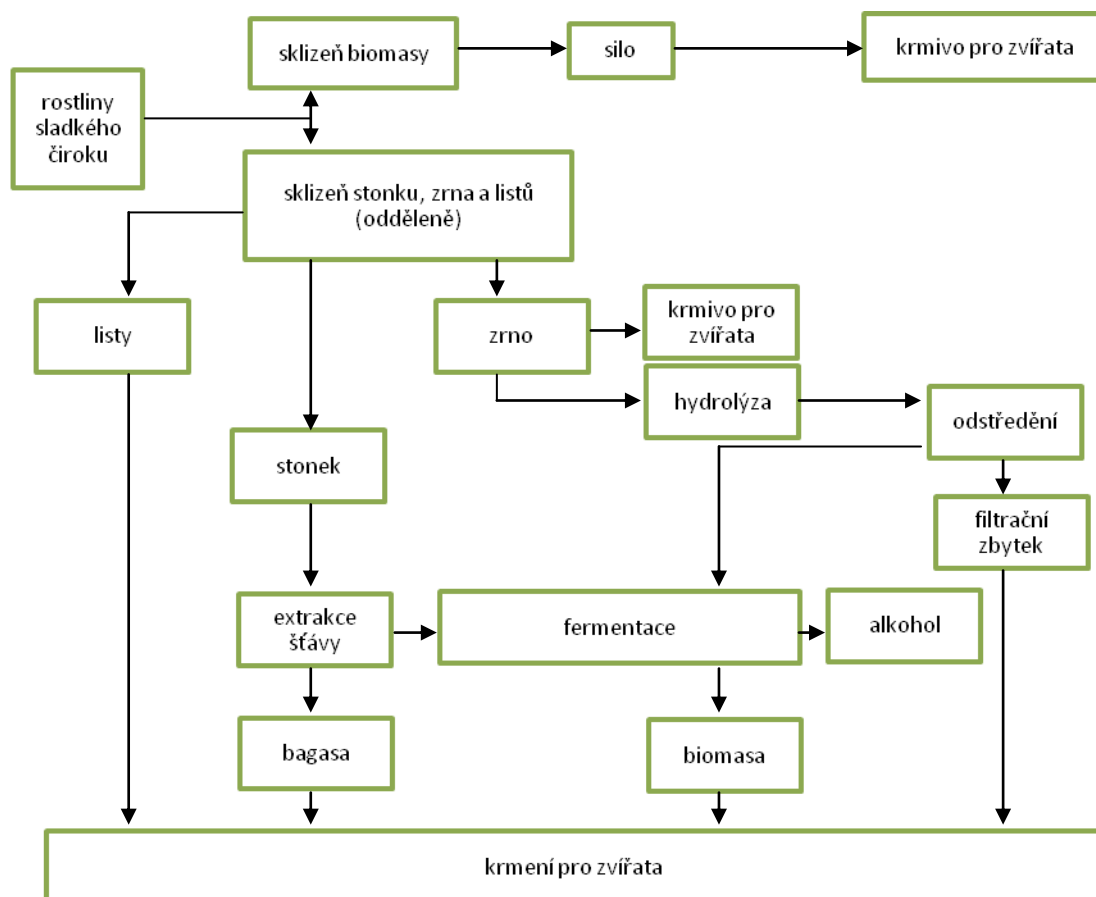
Základem je zpřístupnit celulózu a hemicelulózu pro další fáze.

Jelikož používané technologie na výrobu etanolu z polysacharidů obsažených v lignocelulózovém materiálu jsou složitější a náklady podstatně vyšší,

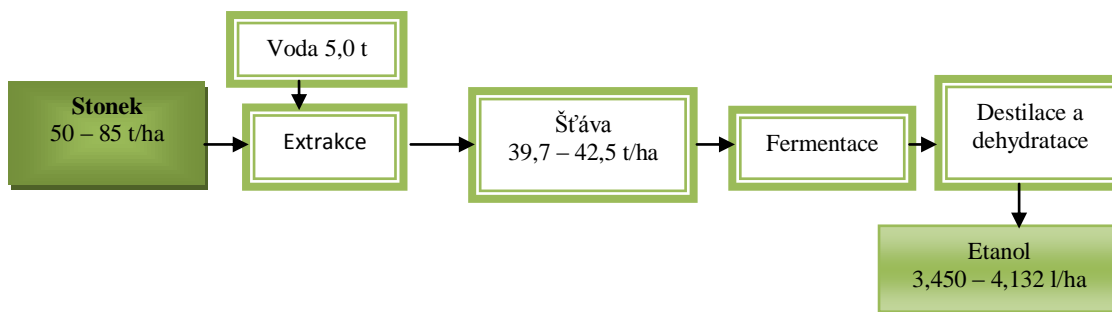
hledají se nové možnosti jako např. využití hub štěpící celulózu nebo se zkoušejí termofilní kmeny Clostridií, kde se celulóza při teplotách 60-70°C kvasí na etanol (MOUDRÝ, STRAŠIL 1998). Dalšími, speciálně navrženými mikroorganismy pro etanolové kvašení jsou např. bakterie *Escherichia coli*, *Zymomonas Mobilis*, *Saccharomyces Cerevisiae* apod.

Využití čiroku cukrového znázorňují následující obrázky. Na obrázku č. 11 představují Almodáres a Hadi (2009) návrh na využití celé rostliny a obrázky č. 12, 13, 14 pak uvádí porovnání průměrných výnosů etanolu právě z různých částí čiroku cukrového. Výnosy etanolu z čiroku se mohou lišit v závislosti na odrůdě, zeměpisné poloze, úrodnosti půdy a teplotě.

Obrázek č.11: Návrh pro výrobu etanolu a vedlejších produktů z čiroku cukrového (ALMODARES, HADI 2009)



Obrázek č. 12 – Výnosy etanolu ze stonku čiroku cukrového (ALMODARES, HADI 2009)



Čirok cukrový obvykle dává výnos 50 – 120 tun stonků z 1 hektaru v první seči. V té době surovina obsahuje přibližně 73% vody, 13% rozpustných cukrů (glukóza, fruktoza, sacharóza), 5,3 % buničiny, 3,7 % hemicelulózy a 2,7 % ligninu. Stonky obsahují až 70% sladké šťávy a 15,33 t zbytku po lisování (ALMODARES, HADI 2009). Přidaná voda po sklizni je považována za součást výnosu sladké šťávy.

Dřeň stonku čiroku cukrového je bohatá na cukry rozpustné ve vodě, zatímco kůra je obohacená o lignin a fenolové kyseliny, jak ukazuje tabulka č.10 (BILLA a kol. 1997).

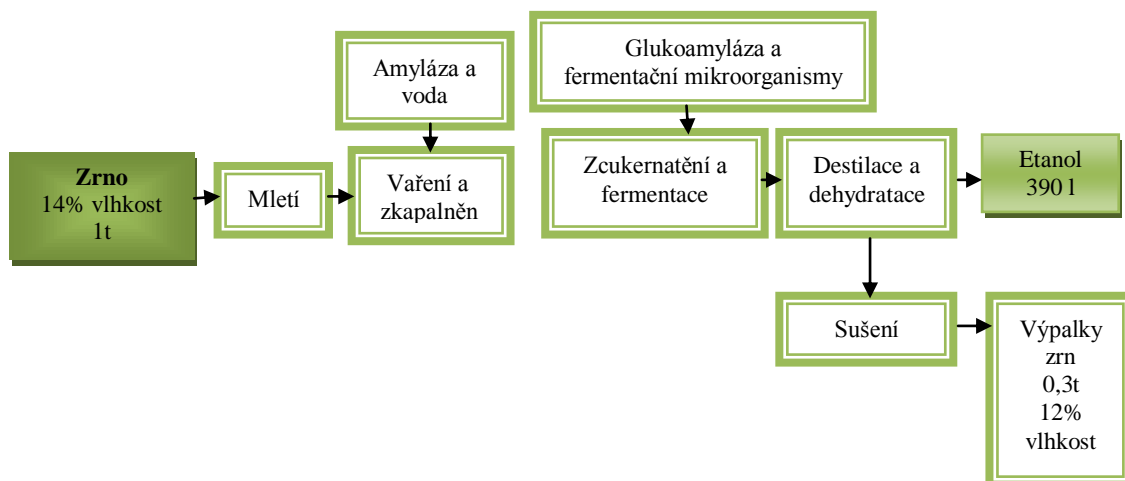
Tab. č. 10 Chemické složení stonku čiroku cukrového v % sušiny (BILLA a kol. 1997)

	Celý čirok	dřeň	kůra
celulóza	12,4	8,7	19,2
hemicelulóza	10,2	6,3	17,5
lignin	4,8	0,6	8,8
sacharóza	55	67,4	32,2
glukóza	3,2	3,7	2,4
popel	0,3	0,2	0,5

Výsledky naznačují, že kůra bohatá na lignocelulózu vlákna může být zdrojem pro papírnickví a výrobu celulózy, ale hlavní podstatou biokonverze je

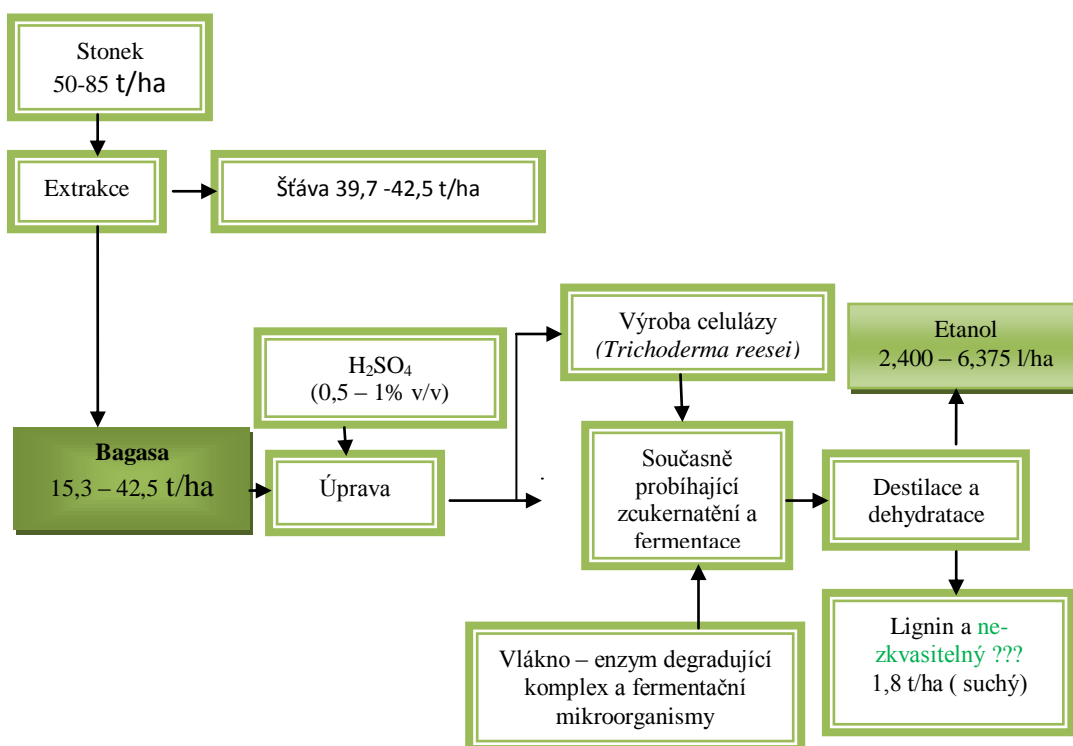
vysoký obsah cukru hlavně sacharózy (až 55% suché biomasy), fruktózy a glukózy v celém stonku čiroku.

Obr. č. 13 Výnos etanolu ze zrna čiroku cukrového (SERNA-SALDÍVAR 2010)



Zrno čiroku je složeno ze tří hlavních anatomických částí – oplodí, klíčku a endospermu. Klíček je bohatý na tuky, rozpustné cukry a bílkoviny (albuminy a globuliny). Největší podíl škrobu je obsažen v endospermu. Podobně jako kukuřice, čirok obsahuje 60 až 70% škrobu (SERNA – SALDIVAR 2010).

Obr. č. 14 Výnos etanolu z bagasy čiroku cukrového (ALMODARES, HADI 2009)



Zbytek po lisování čiroku cukrového obsahuje přibližně 54% vody, 5,4 % jednoduchých zkvasitelných cukrů, 17% celulózy, 12% hemicelulózy a 11,7 % ligninu (ALMODARES, HADI 2009).

V tabulce č.11 je uveden výnos etanolu u čiroku v porovnání s různými kulturními plodinami pěstovanými v našich podmínkách.

Tab. č. 11. Výnos etanolu u různých kulturních plodin (podle různých autorů) (PETŘÍKOVÁ a kol. 2006)

Druh	Škrob/cukr v % čerstvé hmoty	Výnos (t/ha)	Výtěžnost etanolu (l/t)	Výtěžnost etanolu (hl/ha)
Řepa krmná	9,7	90	59	53
Řepa cukrová	16,0	30 - 50	90 - 100	38 - 48
Brambory	18,0	20 - 30	100 - 120	22 - 33
Kukuřice na zrno	60,0	4 - 8	360 - 400	15 - 30
Kukuřice na zeleno	11,0	47	67	31,9
Pšenice zrno	62,0	2 - 5	370 - 420	8 - 20
Ječmen zrno	52,0	2 - 4	310 - 350	7 - 13
Žito zrno	55,5	3,5	36	12,8
Proso zrno	70,0	2 - 5	330 - 370	7 - 18
Čirok zrno	70,0	1 - 6	340	3,4 - 20
Topinambur hlízy	17,0	20 - 40	77	15 - 31

Výnosy etanolu a fermentační účinnost jsou ovlivněny genotypem a chemickým složením (WU a kol. 2007). Škrob, bílkoviny a třísloviny jsou hlavními komponenty související s výrobou etanolu a jejich obsah může být pozitivně či negativně ovlivněn také agrotechnickými faktory jako je výsev, stanoviště apod. Složení škrobu, konkrétně amylózy, má vliv na účinnost fermentace. Suroviny s menším obsahem amylózy, jsou efektivněji přeměněny na etanol (WU a kol. 2008).

V odborné literatuře je uvedeno několik způsobů, zahrnující fyzikální či mechanické technologie pro zlepšení výtěžnosti etanolu. Například velikost částic zrn čiroku hraje důležitou roli v procesu získávání etanolu ze škrobu. Wang a kol. (2008) uvádí zvýšení efektivity fermentace přibližně o 5% u jemněji namletých vzorků zrn v porovnání s hrubšími. Důvodem je vyšší teplota o 5 – 10 °C u jemnějších částic při přeměně škrobu na želatinu a tudíž lepší dostupnost škrobu pro enzymy umožňující hydrolýzu. Další efektivní zvýšení výnosu etanolu může přinést mechanické odstranění vnějších vrstev zrn, tzv. loupání zrn. Oplodí, klíček a hlavně periferní endosperm zrna, jsou tkáně, které přímo souvisejí s nižší stravitelností živin čiroku (SALDIVAR 2007). Dochází ke zvýšení koncentrace škrobu, snižuje se podíl vlákniny, tuků a fenolů. Loupaná a mletá zrna čiroku urychlují hydrolýzu. Alternativním způsobem mechanického odstranění vnějších vrstev zrn může být tzv. parní loupání. Struktura endospermu se naruší párou po dobu 15 až 30 minut a následuje loupání přes drážkovaný válec (SERNA-SALDIVAR 2010). Takto upravená zrna čiroku mají vyšší citlivost na při zkapalnění a produkují přibližně o 40% více etanolu během kvašení (HERNANDES a kol. 2009). Jinou metodou pro zlepšení dostupnosti škrobu se uvádí tzv. SCFX, superkritická fluidní oxidace uhlíku čímž se poruší intimní vazby mezi škrobovými zrny a bílkovinou matricí (ZHAN a kol. 2006).

U plodin pěstovaných na zrno bývá častým problémem klíčení zrn. K tomuto stavu dochází zpravidla při vlhkém počasí v době sklizně nebo při nevhodné vlhkosti v průběhu skladování. Takto poškozená zrna jsou v potravinářském průmyslu samozřejmě považována za zboží nízké hodnoty. Ale v případě čiroku, mohou být takto znehodnocená zrna nabídnuta k průmyslovému využití – výrobě etanolu (YAN 2009)

Klíčení u zrn čiroku způsobuje změny jak ve složení, tak i ve fyzikálních vlastnostech zrna. Dále způsobuje biochemické a fyziologické změny zrna. Vnitřní enzymy (amylázy, protézy, lipázy a další) jsou aktivovány, což narušuje protein orgánů a rozkládá bílkoviny, sacharidy a tuky na jednodušší molekuly a tím se zvyšuje stravitelnost proteinů a sacharidů v jádře a zpřístupnění živin pro enzymy. To znamená, že zkvasitelnost naklíčených zrn čiroku je podstatně vyšší než u nenaklíčených zrn. Také další pokusy ukázaly, že snížením obsahu tříslovin u naklíčených zrn čiroku dochází ke zlepšení výkonu fermentace, ale také aktivuje enzymy, které zkracují čas fermentace (YAN 2009).

U výroby etanolu ze zrna čiroku jsou klíčovými faktory, jež ovlivňují hlavně výnos etanolu, obsah a stravitelnost škrobu, úroveň extrahovatelných bílkovin, interakce bílkovin a škrobu, viskozita suroviny, množství fenolických látek, poměr amylozy k amylopektinu a amylozy tvorba – lipidových komplexů v surovině (YAN 2009).

3.7.2.2 Bioplyn

Souhrnný termín „bioplyn“ přiřadila současná technická praxe výlučně pro plynný produkt anaerobní metanové fermentace organických látek uváděné též pod pojmy anaerobní digesce, biometanizace, biogasifikace a nebo vyhnívání (u čistírenských kalů). Názvem „bioplyn“ je obecně míněna plynná směs methanu a oxidu uhličitého (ANONYM 1 - 2011).

Všechny organický materiál s výjimkou dřeva, lze použít na výrobu bioplynu. Vzhledem k vysokému výnosu zelené hmoty se čiroky stávají též zajímavou plodinou, která může nahradit kukuřici na siláž v bioplynových stanicích. Bioplyn má velmi pozitivní efekt na prostředí, protože se při jeho spalování vytváří méně CO₂ než při fotosyntéze rostlin, ze kterých je vyroben (MURSEC a kol. 2009) (JANOVSKÁ, HERMUT 2011).

Bioplyn je produktem anaerobní fermentace, při kterém směsná kultura mikroorganismů postupně v několika stupních rozkládá organickou hmotu. Lze rozdělit do 4 hlavních fází: (ANONYM 16 - 2012)

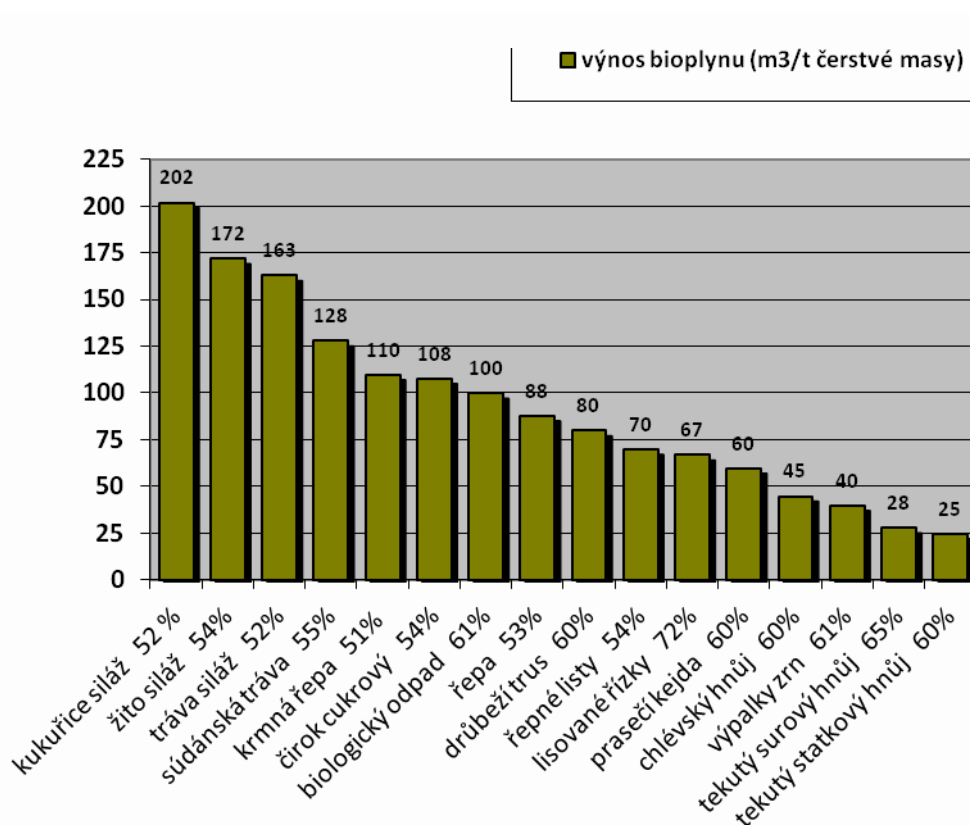
- Hydrolyza: působením extracelulárních enzymů dochází mimo buňky k hydrolytickému štěpení makromolekulárních látek na jednodušší sloučeniny, především mastné kyseliny a alkoholy, při tomto procesu se uvolňuje rovněž vodík (H₂) a oxid uhličitý (CO₂).
- Acidogeneze: působením extracelulárních enzymů dochází mimo buňky k hydrolytickému štěpení makromolekulárních látek na jednodušší sloučeniny, především mastné kyseliny a alkoholy, při tomto procesu se uvolňuje rovněž vodík (H₂) a oxid uhličitý (CO₂).
- Acetogeneze: dochází k dalšímu rozkladu kyselin a alkoholů za produkce kyseliny octové.
- Methanogeneze: závěrečný krok anaerobního rozkladu, kdy z kyseliny octové, H₂ a CO₂ vzniká methan - CH₄, tento krok provádějí methanogenní bakterie, což jsou striktně anaerobní organismy,

podobné nejstarším organismům na Zemi. Tyto bakterie jsou citlivé především na náhlé změny teplot, pH, oxidačního potenciálu a další inhibiční vlivy.

Dle pokusů v Celorepublikové laboratoři Mendlovy univerzity v Brně bylo zjištěno, že celkové množství vyprodukovaného bioplynu z některých nových odrůd čiroku je vyšší než u energetických odrůd kukuřice. Ze zjištěných údajů by bylo možné považovat siláž čiroku dokonce za lepší než kukuřičnou siláž. Je nutné ovšem zohlednit, že pro energetické účely není rozhodující množství bioplynu, ale množství metanu, jako majoritního nositele energetického potenciálu. Bioplyn produkovaný kukuřičnou siláží má totiž výrazně vyšší obsah metanu (KOUTNÝ a kol. 2011).

V následujícím grafu jsou uvedeny jednotlivé výnosy různých organických materiálů.

Graf. č. 1 Výnos bioplynu různých organických materiálů s obsahem metanu v % (AEBIOM 2006).



3.7.2.1 Vodík

Hlavním zdrojem vodíku při biologickém, kvasném procesu jsou sacharidy, které jsou velmi často obsaženy v rostlinných tkáních, a to buď ve formě oligosacharidů nebo jejich polymerů, celulóze, hemicelulóze a škrobu (NTAKIOU a kol. 2007). Proto lze čirok cukrový považovat též za vynikající surovinu pro fermentační výrobu vodíku.

Biologická produkce vodíku může být dosažena použitím mikroorganismů dvou hlavních typů, fotosyntetických (fotoautotrofních a fotoheterotrofních) a fermentativních. Vhodnými kulturami bakterií se ukazují být *Caldicellulosiruptor sacharolyticus* a *Ruminococcus albus* (WHITFIELD a kol. 2012). Rozpustné i komplexní sacharidy obsaženy v biomase čiroku mohou být využity k výrobě vodíku jednak přímo ze stonků nebo po extrakci. Extrakcí pomocí vody o 30°C se získá tekutá frakce, bohatá na sacharózu a pevná frakce, obsahující celulózu a hemicelulózu. Při použití bakterie *R. albus* se produktivita vodíku odhaduje na 60 l vodíku na kg mokré biomasy čiroku (NTAKIOU a kol. 2007).

3.7.2.2 Bionafta

V současné době se bionafta vyrábí převážně ze sóji, řepky, řepkového oleje, palmového oleje apod. Poptávka po bionaftě neustále roste, tudíž se zvyšuje i cena surovin. Pro vysoký obsah cukru a nízký obsah lipidů je čirok cukrový též spojován v souvislosti s výrobou bionafty. Šťáva z čiroku cukrového byla zkoumána jako alternativní zdroj uhlíku na glukózu. Mikrořasy *Chlorella protothecoides* mohou růst heterotrofně s glukózou jako zdroj uhlíku a hromadí vysoký podíl tuků (GAO a kol. 2010). A právě lipidy těchto mikrořas jsou vhodné pro výrobu bionafty. Na základě získaných dat z pokusů lze uvést výnos 1,4 t bionafty na hektar čiroku cukrového. Lze též očekávat zdvojnásobení výnosu v některých oblastech při slizni dvakrát ročně (GAO a kol. 2010).

3.8 Stav využití čiroku pro energetické účely v ČR a ve světě

Jak již bylo uvedeno, čirok lze využívat jako energetickou plodinu pro spalování fytomasy. Výnos závisí na pěstované oblasti, obecně lze říci, že v teplejších oblastech je výnos vyšší. V současné době v ČR neexistují praktické poznatky z velkovýrobního pěstování čiroku a to zejména ze sklizně a zpracování biomasy na fytopalivo (ANONYM 18 - 2012). Rostliny čiroku jsou robustnější a delší dobu si zachovávají fotosyntetickou aktivitu listového aparátu, čímž se

prodlužuje doba vegetace. To může být problém v pěstebních podmínkách ČR k získávání materiálu o doporučené sušině vhodné pro daný způsob energetického využití. A právě z hlediska vysokého obsahu vody v rostlinách během celé vegetace, jsou čiroky v našich klimatických podmínkách vhodnější zpracovávat procesem fermentace. Také díky legislativní podpoře z obnovitelných zdrojů dochází k prudkému rozvoji výroby bioplynu. Pro bioplynové stanice, ve kterých je zpracovávána cíleně pěstovaná biomasa, je často hlavním substrátem silážovaná kukuřice (KOUTNÝ a kol. 2011). Tato rostlina však může v některých oblastech působit nepříznivě na kvalitu půdy nebo je pro dané oblasti nevhodná. Z těchto důvodů je pak vhodné použít alternativní plodiny jako je právě čirok.

Ve světě se čirok v současné době řadí mezi pět nejvýznamnějších obilovin a je třetí nejvýznamnější pěstovanou obilovinou v USA. Podle USDA (Americké ministerstvo zemědělství – U.S. Department of Agriculture), jak je uvedeno v tabulce č. 2, jsou největšími producenty a vývozci čiroku Spojené státy, Indie a Nigérie (ANONYM 14 - 2012).

Tab. č. 2 – Světová produkce čiroku (USDA 2011)

Stát/region	Plocha (milion ha)		Výnos (metrické t/ha)		Produkce (milion metrických t)	
	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11	2009/10	2010/11
SVĚT	40,68	40,85	1,46	1,60	59,26	65,36
USA	2,23	1,95	4,35	4,51	9,73	8,77
Nigérie	7,50	7,60	1,53	1,54	11,5	11,7
Súdán	6,00	6,20	0,44	0,83	2,63	5,16
Etiopie	1,55	1,55	1,34	1,68	2,08	2,60
Burkina	1,62	1,62	0,94	1,20	1,52	1,95
Tanzanie	0,90	0,90	0,79	0,94	0,71	0,85
Niger	1,50	1,50	0,49	1,00	0,74	1,50
Uganda	0,31	0,31	1,60	1,68	0,50	0,52
Mozambik	0,61	0,62	0,62	0,62	0,38	0,38
Ghana	0,34	0,34	1,03	1,06	0,35	0,36
Jižní Afrika	0,09	0,07	2,26	2,86	0,20	0,20
Indie	7,50	7,20	0,89	0,94	6,70	6,74
Pákistán	0,24	0,24	0,60	0,60	0,15	0,15
Argentina	0,75	0,98	4,83	4,74	3,63	4,65
Brazílie	0,79	0,72	2,34	2,51	1,85	1,79
Mexiko	1,62	1,70	3,87	3,73	6,25	6,34

Čína	0,56	0,58	3,00	3,10	1,68	1,80
Austrálie	0,52	0,68	3,10	3,53	1,60	2,40
Egypt	0,16	0,16	5,63	5,63	0,90	0,90
EU - 27	0,12	0,12	5,22	5,51	0,62	0,63
Francie	0,06	0,05	5,40	5,66	0,31	0,30
Itálie	0,04	0,04	6,08	6,61	0,24	0,27
Ostatní	5,78	5,83	0,96	1,02	5,55	5,96

3.9 Ekonomické zhodnocení pěstování čiroku

Ekonomická efektivnost pěstování energetických plodin závisí na několika zásadních parametrech: náklady na pěstování (přímé a nepřímé náklady), náklady na odvoz, skladování a zpracování, výkupní ceny biomasy (nepřímé výkupní ceny elektřiny, resp. cena tepla apod.) (PETŘÍKOVÁ a kol. 2006). Do přímých nákladů na pěstování lze počítat operativní či materiálové náklady zahrnující založení porostu až po sklizeň. Nepřímými neboli fixními náklady rozumíme např. nájemné půdy, daně, odpisy a opravy staveb, odpisy strojů, úroky, výrobní a správní režie.

Náklady na výrobu a zpracování a případné dosoušení se musí kalkulovat na jednotlivé konkrétní případy, neboť cena suroviny bude záviset na mnoha okolnostech, jako jsou způsob zakládání a sklizně čiroku, vzdálenost přepravy, způsob naskladnění, skladování a vyskladnění, dosoušení apod. Náklady a zisky budou záviset také na dosahované velikosti výnosů (PETŘÍKOVÁ a kol. 2006).

Jedním z hlavních důvodů pomalého rozvoje energetického využití biomasy je nepříznivá ekonomika pěstování, zpracování a využití biopaliv a tvrdá konkurence ostatních fosilních zdrojů energie. Výsledky studií uvádí, že zatím nelze pěstovat energetické plodiny se ziskem bez finanční podpory a dotací.

Ekonomická efektivnost se měří penězi, proto její výpočet nemůže obsahovat penězi neměřitelné veličiny, mezi něž bohužel patří i většina přínosů ve prospěch životního prostředí (HAVLÍČKOVÁ a kol.).

3.10 Legislativa

Na jaře roku 2009 byla přijata směrnice Evropského **parlamentu a rady 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů o změně a následujícím zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES**. Tato směrnice vstoupila v platnost v souladu s článkem 28 dvacátým dnem po vyhlášení v Úředním věstníku

Evropské unie (DOLEŽALOVÁ 2009). Podle článku 26 se směrnice 2001/77/ES a 2003/30/ES zruší s účinkem ode dne 1. ledna 2012, přičemž se jejich některé články zrušily již ode dne 1. dubna 2010.

Směrnice 2001/77/ES vytyčila tzv. indikativní cíl 22% (po rozšíření EU 21%) podílu výroby elektřiny v Evropské unii v r. 2010. Směrnice 2003/30/ES upravovala podporu užívání biopaliv nebo jiných obnovitelných pohonných paliv v dopravě.

Směrnice 2009/28/ES stanoví společný rámec pro podporu energie z obnovitelných zdrojů. Stanoví závazné národní cíle, pokud jde o celkový podíl energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie a podíl energie z obnovitelných zdrojů v dopravě. Směrnice stanoví pravidla týkající se statistických převodů mezi členskými státy, společných projektů členských států a členských států a třetích zemí, záruk původu, správních postupů, informování a vzdělávání a přístupu energie z obnovitelných zdrojů k distribuční soustavě. Stanoví kritéria udržitelnosti pro biopaliva a biokapaliny (ANONYM 11 - 2011).

Zákonnou normou v současnosti je **energetický zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie**, jehož účelem je podpořit využívání a zajistit trvalé zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie na spotřebě primárních energetických zdrojů. Tento zákon vstoupil v platnost dne 1.8.2005 a určuje pravidla pro stanovování cen elektřiny z obnovitelných zdrojů. K tomuto zákonu přísluší též prováděcí vyhlášky:

- **vyhláška 343/2008**, kterou se stanoví vzor žádosti o vydání záruky původu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a vzor záruky původu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie
- **vyhláška 475/2005**, kterou se provádějí některá ustanovení zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů
- **vyhláška 482/2005 Sb.** o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy
- **vyhláška 502/2005 Sb.** o stanovení způsobu vykazování množství elektřiny při společném spalování biomasy a neobnovitelného zdroje
- **cenové rozhodnutí ERÚ č. 2/2010**, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů

3.11 Dotace

Přehled možností finanční podpory využití biomasy ze strany ČR A EU:

Jednou z možností jsou **daňové úlevy**. Jsou dány zákonem č.č586/1992 Sb., o daních z příjmu, na jehož základě jsou osvobozeny od daně z příjmu příjmy z provozu zařízení na výrobu tepla nebo elektřiny z biomasy v roce uvedení do provozu a pěti následujících letech (ENERGIE 21, 3/2008).

Druhou možností jsou **dotační programy**.

Dle finančních prostředků se dotační zdroje v České republice dělí do dvou základních skupin:

- **Evropské dotační programy** – jsou většinou částečně kofinancované ze státního rozpočtu ČR

V současném programovém období 2007 – 2013 lze pro podporu využívání biomasy využít tyto dotační programy:

a) Operační program životního prostředí

– **osa III.** – Udržitelné využívání zdrojů energie - Oblast podpory 3.1 - Výstavba nových zařízení a rekonstrukce stávajících zařízení s cílem zvýšení využívání obnovitelných zdrojů energie pro výrobu tepla, elektřiny a kombinované výroby tepla a elektřiny (ANONYM 2 - 2011)

b) Operační program Podnikání a inovace

– **Program EKO-ENERGIE** - Cílem programu je prostřednictvím dotací nebo podřízených úvěrů s finančním příspěvkem stimulovat aktivitu podnikatelů, zejména malých a středních, v oblasti snižování energetické náročnosti výroby, spotřeby primárních energetických zdrojů a vyššího využití obnovitelných a druhotných zdrojů a jejich udržitelný růst (ANONYM 3 - 2011).

c) Program rozvoje venkova

- **OSA I.1.1.3.** - Založení porostů RRD pro energetické účely.
 - **OSA III.1.1.** - Diverzifikace činností nezemědělské povahy.
- d) **Zelená úsporám** – Tento program je zaměřen na podporu instalací zdrojů na vytápění s využitím obnovitelných zdrojů energie, ale také investic do energetických úspor při rekonstrukcích i v novostavbách. V programu je podporováno kvalitní zateplování rodinných domů a bytových domů, náhrada neekologického vytápění za nízkoemisní zdroje na biomasu a účinná tepelná čerpadla, instalace těchto zdrojů do nízkoenergetických novostaveb a také výstavba v pasivním energetickém standardu (ANONYM 4 - 2011).
- e) **Intelligent energy europe programme (IEE II)** - Cílem tohoto programu je podporovat trvale udržitelnou výrobu a spotřebu energie a přispívat k dosažení obecných cílů bezpečnosti dodávek energie, konkurenceschopnosti a ochrany životního prostředí. Program se zaměřuje na oblast energetické účinnosti a kombinovaných zdrojů tepla a elektřiny a na zavádění obnovitelných zdrojů energie (ANONYM 5 - 2011).
- **Národní dotační programy** – jsou plně hrazeny ze státního rozpočtu ČR
 - a) **Podpora investičních projektů na využívání obnovitelných zdrojů energie.**
 - b) **Program EFEKT 2011** – program je určen na podporu energetických úspor a využití obnovitelných zdrojů energie v České republice. Dotace jsou poskytovány především na informační a osvětovou činnost pro veřejnost v oblasti úspor energie. Program se zaměřuje nejen na finanční podporu energetických konzultačních středisek EKIS, která bezplatně poskytují veřejnosti informace o úsporách energie, ale dotační podpora je určena i pro pořádání vzdělávacích seminářů a konferencí a také pro vydávání publikací se zaměřením na úspory energie a využívání obnovitelných zdrojů energie. Státní podporu lze získat také na menší investiční akce v oblasti výroby a úspor energie. Tento program oproti některým jiným programům umožňuje financovat akce na území Prahy. Další specialitou

programu EFEKT je, že podporu lze čerpat předem, nikoli zpětně po ukončení akce (ANONYM 11 - 2011).

Tyto dotační programy administrují různé organizace např. Státní fond životního prostředí, Státní zemědělský intervenční fond nebo Ministerstvo životního prostředí.

4 ZÁVĚR

Čirok je velmi zajímavou plodinou z hlediska rozmanitosti využití. Je významnou surovinou v potravinářském, krmivářském, ale i energetickém průmyslu. Za vhodných podmínek tyto rostliny vytvářejí dostatek fytohmoty, která může být využita ke spalování. Energetická hodnota čiroků v porovnání s jinými energetickými plodinami dosahuje téměř srovnatelných výsledků. Velký význam v oblasti energetického využití má čirok cukrový. Je vhodný jako surovina pro bioprosedy kvašení z důvodů vysokého obsahu lignocelulóзовých zkravitelných cukrů. Jako zdroj uhlohydrátů je vhodný prakticky pro jakýkoliv druh fermentace. Navíc všechny části této rostliny mají ekonomickou hodnotu. Nejvíce pozornosti ve výzkumu je věnováno produkci etanolu z čiroku cukrového. Velký zájem též vrůstá o zpracování čiroku na výrobu bioplynu, vodíku a bionafty.

Samozřejmě, že existuje celá řada výnosnějších plodin pro energetické využití, ale čiroky oproti těmto plodinám mají určité vlastnosti, které je staví do ekonomicky výhodnější pozice. Jednak to jsou nízké požadované vstupy na pěstování, kratší vegetační doba, určitou toleranci k zasolení, vhodný do osevních postupů imisně zatížených regionů a v neposlední řadě hlavně nižší nároky na vodu.

Účelem šlechtění je zvýšení výnosu a posun do severnějších oblastí rozvojových zemí. Čirok může být pěstován i v mírných klimatických podmínkách, ale z ekonomického hlediska jsou vhodnější teplejší oblasti. Z toho vyplývá, že v tropických, subtropických a suchých oblastech Spojených států, Mexika, Číny, Indie, Jižní Afriky a dalších rozvojových zemí, kde převažují tvrdší agronomické podmínky je čirok jedna z nejslibnějších plodin pro výrobu pohonných hmot. Země s těmito klimatickými podmínkami by se měli soustředit na podporu rozvoje projektů pro produkci energie z čiroku.

Z mého pohledu se energetické využití čiroku a vůbec využití biomasy jako obnovitelného zdroje zatím dostává do podvědomí lidí velmi pomalým způsobem.

Tato skutečnost vyplývá z mých dotazů ohledně biomasy, zvláště čiroku, zaměřených na osoby zabývající se zemědělstvím a energetikou v průběhu vzniku této bakalářské práce. S ubýváním fosilních paliv a s alarmujícím stavem životního prostředí je nutností se touto problematikou zabývat. A právě energetické využití biomasy je z hlediska minimální ekologické zátěže považuji za více než vhodné a žádoucí. Se zhodnocením všech vlastností čiroku se tato plodina stává jednou z nejperspektivnějších energetických plodin.

5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. AEBIOM (2006): Biogas yields, [on line, http://www.aebiom.org/IMG/pdf/Brochure_BiogasRoadmap_WEB.pdf], „staženo dne 2.2.2012“
2. ALMODARES A., HADI M.R., (2009): Production of bioethanol from sweet sorghum: A review, Afrikan Journal of Agricultural Research, 4 (9), 772-780.
3. ANONYM 1, (2011): Co je to bioplyn, [on line, <http://www.czba.cz/index.php?art=page&parent=vse-o-bioplynu&nid=co-je-to-bioplyn->] „cit. dne 6.9.2011“.
4. ANONYM 2 (2011), Prioritní osa 3, [on line, <http://www.opzp.cz/sekce/369/prioritni-osa-3/>] „cit. dne 20.11.2011“.
5. ANONYM 3 (2011), Operační program Podnikání a inovace, Eko – energie, [on line, <http://www.czechinvest.org/data/files/ekoenergie-29.pdf>] „cit. dne 20.11.2011“.
6. ANONYM 4, (2011): Popis programu, [on line, <http://www.zelenausporam.cz/sekce/470/popis-programu/>] „cit. dne 20.11.2011“
7. ANONYM 5, (2011): Intelligent energy europe programe (IEE II), [on line, <http://www.mpo-efekt.cz/cz/programy-podpory/9806>] „cit. dne 20.11.2011“
8. ANONYM 6, (2011): Sorghum, [on line, <http://translate.google.cz/translate?hl=cs&langpair=en%7CCs&u=http://www.grains.org/sorghum>] „cit. dne 3.12.2011“
9. ANONYM 7 (2011) : Sorghum growth stage development, [on line, <http://weedsoft.unl.edu/documents/GrowthStagesModule/Sorghum/Sorgh.htm#>] „cit. dne 4.12.2011“
10. ANONYM 8 (2012): Sorghum and Miller in human nutrition, [on line, <http://www.fao.org/docrep/T0818E/T0818E01.htm>] „cit. dne 3.3.2012“
11. ANONYM 9 (2012): Sorghum taxonomy: [on line, http://www.gramene.org/species/sorghum/sorghum_taxonomy.html] „cit. dne 3.3.2012“
12. ANONYM 10 (2012): Sorghum 101, [on line, <http://www.sorghumcheckoff.com/sorghum-101>] „cit. dne 3.3.2012“

13. ANONYM 11 (2011): Směrnice stanovující rámec pro podporu energie z obnovitelných zdrojů [on line, <http://www.mpo.cz/dokument79879.html>] „cit. dne 20.11.2011“
14. ANONYM 12 (2011): čirok [on line, http://kryv.agrobiologie.cz/atlas/katalog/plodiny/list/?skupina_id=&celed_id=1001&str_aktualni=2] „cit. dne 5.11.2011“.
15. ANONYM 13 (2012): Anatomie [on line, http://www.gramene.org/species/sorghum/sorghum_anatomy.html] „cit. dne 16.3.2012“
16. ANONYM 14 (2012): World sorghum production and trade [on line, http://www.grains.org/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=120] „cit. dne 18.3.2012“
17. ANONYM 15 (2012): Fermentace [on line, <http://www.agronavigator.cz/az/vis.aspx?id=92242>] „cit. dne 18.3.2012“
18. ANONYM 16 (2012): Anaerobní technologie [on line, http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm] „cit. dne 19.3.2012“
19. ANONYM 17 (2012): Rozdělení čiroku podle možného využití v podmínkách ČR, [on line, <http://www.seedservice.cz/editor/filestore/File/2011/CIROK2011.pdf>] „cit. dne 21.3.2012“
20. ANONYM 18 (2012): Čirok, [on line, <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/cirok>] „cit. dne 26.3.2012“
21. BALÁŠ M., MOSKALÍK J. (2009): Měření vlhkosti paliv, [on line, <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/mereni-vlhkosti-paliv>] „cit. dne 18.10.2011“
22. BALAT M., BALAT H., OZ C. (2008): Progress in bioethanol processing, [on line, <http://www.biotek.lu.se/fileadmin/bioteknik/Utbildning/Kurser/KKKA05/ProgressETOHprocess.pdf>] „cit. dne 20.10.2011“
23. BARTOŠ V. (2000): Briketování kovových a nekovových materiálů, Diplomová práce, univerzita? Místo vydání?, .
24. BILLA E., KOULLAS D.P., MONTIES B., KOUKIOS E.G., (1997): Structure and composition of sweet sorghum stalk components. Ind Crops Prod 6, 297–302.
25. DOLEŽALOVÁ H. (2009): Nová evropská směrnice o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů. Energie 21 (6), 44.

26. EU-LEX.EUROPA.EU (2012): Úřední věstník Evropské unie, [on line, <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2010:337A:0001:0660:CS:PDF>], „cit. dne 3.3.2012“
27. GAO CF., ZHAI Y., DING Y., WU QY. (2010): Application of sweet sorghum for biodiesel production by heterotrophic microalga *Chlorella protothecoides*. *Applied Energy*, 87, 756-761.
28. HAVLÍČKOVÁ K., KNÁPEK J., VAŠÍČEK J., (2003): Ekonomická efektivnost projektů, *Biomasa Obnovitelný zdroj energie v krajině*, Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, Průhonice, 61 s.
29. HERMUTH J. (2010) : Čirok – znovu vzkříšená plodina v ČR, *Agromanuál*, 5: 62 – 65.
30. JANOVSÁ D., HERMUTH J. (2011): Možnosti využití čiroku a béru pro produkci biomasy, [on line, <http://www.cbks.cz/Rostliny2011/prispevky/JankovskaHermuth.pdf>] „cit. dne 8.11.2011“
31. JEŽEK J., REICHMAN J. (2008): Dotace na podporu využívání biomasy. *Energie* 21, 3: 16-17.
32. KÁRA J., PASTOREK Z., JEVIČ P.: *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*, Praha, FCC Public, 288s.
33. KÁRA J., STRAŠIL Z., HUTLA P., USŤAK S. (2005): *Energetické rostliny, technologie pro pěstování a využití*. Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha, 80 s.
34. KUNC V. (2008): *Strategie a kontroly techniky znečištění pro spalovací procesy*, Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, 31s.
35. KOUBOVÁ D. (2009): Při pěstování čiroku je největším problémem chladno, [on line, <http://www.agronavigator.cz/default.asp?ch=1&typ=1&val=87875&ids=110>] „cit. dne 3.12.2011“
36. KOUTNÝ T., VÍTĚZ T., HAITL M. (2011): Quanti-qualitative analysis of anaerobic fermentation of new energy varieties of sorghum, [on line, http://web2.mendelu.cz/af_291_mendelnet/mendelnet2011/articles/29_koutny_5_25.pdf], „cit. dne 3.12.2011“
37. MOUDRÝ J., STRAŠIL Z. (1998): *Energetické plodiny v ekologickém zemědělství*. Spolek poradců v ekologickém zemědělství, Hradec Králové, 11s.

38. MOUDRÝ J., STRAŠIL Z. (1999): Pěstování alternativních plodin (učební texty). Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, České Budějovice, 162 s.
39. MUSSATTO SL., DRAGONE G., GUIMARAES PMR., SILVA SPS., CARNEIRO LM., ROBERTO IC., VICENTE A., DOMINGUES L., TEIXEIRA JA. (2010): Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production, *Biotechnology Advances*, 28, 817-830s.
40. NEJEZCHLEBA R. (2011): Spalování kapalných paliv z obnovitelných zdrojů, Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, 77s.
41. NTAKIOU I., GAVALA H.N., KORAROS M., LYBERATOS G. (2007): Hydrogen production from sugars and sweet sorghum biomass using *Ruminococcus albus*, *International Journal of Hydrogen Energy* 33 (4), 1153 – 1163.
42. PLÍŠTIL D. (2004): Brikety z energetických bylin [on line, <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/brikety-z-energetickych-bylin>] „cit. dne 2.11.2011“
43. PETŘÍKOVÁ V. (2004): Pěstování rostlin pro energetické účely. Praha, s 9.
44. PETŘÍKOVÁ V., SLADKÝ V., STRAŠIL Z., ŠAFAŘÍK M., UŠŤAK S., VÁŇA J. (2006): Energetické plodiny. Profi Press, s.r.o., Praha, 127 s.
45. PRASAD S., SINGH A., JAIN N., JOSHI H.C. (2007): Ethanol production from sweet sorghum syrup for utilization as automotive fuel in India, *Energy & Fuels*, 21 (4): 2415-2420.
46. SERNA-SALDIVAR S. (2010). Cereal grains: Properties, processing, and nutritional attributes. CRC Press, Mexiko, 752 s.,
47. SKLÁDANKA J. (2006): Čírok obecný, [on line, http://web2.mendelu.cz/af_222_multitext/picniny/sklady.php?odkaz=cirok.html], „cit. dne 5.12.2011“
48. SLADKÝ V. (2011): Technika potřebná pro využívání biomasy pro energii, [on line, <http://stary.biom.cz/clen/zs/brno.html>], cit. dne 1.12.2011
49. SLADKÝ V., DVOŘÁK J., ANDERT D. (2002): Obnovitelné zdroje energie – fytopaliva, VÚZT, Praha, 61 s.,
50. STRAŠIL Z. (2011): Pěstování a možnosti využití některých energetických plodin [on line, <http://stary.biom.cz/sborniky/99kara/03.html>], cit. dne 8.12.2011

51. STRAŠIL Z., SKALA J. (1995): Produkce fytomasy rostlin rodu čirok na různých stanovištích ČR s ohledem na energetické využití, [on line, <http://stary.biom.cz/clen/zs/brno.html>], cit. dne 6.12.2011
52. STRAŠIL Z., ŠIMON J. (2009): Stav a možnosti využití rostlinné biomasy v energetice ČR, [on line, <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/stav-a-moznosti-vyuziti-rostlinne-biomasy-v-energetice-cr>], „cit. dne 3.12.2011“
53. TESHOME A., BAUM B.R., FAHRIG L., TORRANCE J.K., ARNASON T.J., LAMBERT J.D.(1997): Sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] landrace variation and classification in North Shewa and South Welo, Ethiopia, [on line, <http://www.glel.carleton.ca/PDF/landPub/97/97TeshomeetalEuphytica.pdf>], „cit. dne 20.2.2012“
54. ÚKZÚZ (2012): Databáze odrůd [on line, <http://nou.ukzuz.cz/ido/index.html>], „cit. dne 3.3.2012“
55. USDA (2011): Global crops production analysis, Office of Global Analysis september 2011 [on line, <http://www.fas.usda.gov/wap/current/default.asp>] „cit. dne 10.11.2011“
56. WANG D., BEA S., McLAREN J., SEIB P., MADL R., TUINSTRA M., SHI Y., LENZ M., WU X., ZHAO R. (2008): Grains sorghum is a viable feedstock for ethanol production, *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 35 (5), 313-320
57. WHITFIELD M.B, CHINN M.S., TELECÍ M.W. (2012): Processing of materials derived from sweet sorghum for biobased products, *Industrial Crops and Product* 37(1), 362-375s.
58. WU X., ZHAO R., BEAN S.R., SEIB P.A., McLAREN J.S., MADL R.L., TUINSTRA M., LENZ M.C., WANG, D. (2007): Factors impacting ethanol production from grain sorghum in the dry-grind process, *Cereal Chemistry*, 84, (2): 130-136.
59. WU X., ZHAO R., LIU L., BEAN S., SEIB P.A., McLAREN J., MADL R., TUINSTRA M., LENZ M., WANG, D. (2008): Effects of growing location and irrigation on attributes and ethanol yields of selected grain sorghums, *Cereal Chemistry* 85 (4): 495-501,.
60. YAN S., WU. X., DAHLBERG J., BEAN SR., MacRITCHIE F., WILSON JD., WANG D. (2010): Properties of field-sprouted sorghum and its performance in ethanol production, *Journal of Cereal Science*, 51(3), 374-380.

61. ZHAN X., WANG D., BEAN S.R., MO X., SUN X.S., BOYLE D.(2006): Ethanol production from supercritical-fluid-extrusion cooked sorghum, *Industrial Crops Products* 23 (3): 304-310.
62. ZHANG C., XIE G., LI S., GE L., HE, T. (2010): The productive potentials of sweet sorghum ethanol in China, *Applied Energy* 87 (7): 2360-2368.