

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra rostlinné výroby**



**Využití čiroků na produkci bioplynu**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Jiří Sedláček**

**Vedoucí práce: prof. Ing. Pulkrábek Josef CSc.**

©2013 ČZU v Praze

### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Využití čiroků na produkci bioplynu" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12.4.2012

---

## Poděkování

Děkuji prof. Ing. Josefu Pulkrábkovi, CSc., vedoucímu mé diplomové práce, za věnovaný čas, odborné vedení a cenné konzultace při zpracování diplomové práce. Za odborné rady a připomínky děkuji také Ing. Janu Hodovalovi z katedry rostlinné výroby.

# Využití čiroků na produkci bioplynu

## Sorghum growing for biogas production

### SOUHRN

Cílem práce bylo shrnout poznatky o pěstování a možnostech využití čiroku cukrového k produkci biomasy vhodné pro výrobu bioplynu.

Pokusy s čírokiem cukrovým byly založeny v letech 2010, 2011 a 2012 na pozemcích Výzkumné stanice v Červeném Újezdě. Výzkumná stanice se nachází v řepařské výrobní oblasti. V pokusu byly porovnávány hybridy čiroku cukrového Bovital od firmy SAATEN – UNION, Sucrosorgho 506 od firmy Syngenta Czech a Goliath-Biomass 133 od firmy Saatbau Linz. Porosty hybridů byly zakládány při meziřádkové vzdálenosti 25, 50 a 75 cm. Maloparcelkové pokusy byly založeny ve třech opakováních o velikosti pokusných parcel 12 m<sup>2</sup>. Z každého opakování bylo odebráno a vyhodnoceno 10 reprezentativních rostlin. Sledovanými znaky byly výška rostliny, počet kolének, tloušťka stonku, obsah sušiny v % ze sklizené biomasy a výnos sušiny z nadzemní biomasy.

V laboratoři byly testovány jednotlivé vzorky čiroku cukrového odebrané z maloparcelkových pokusů. Ve vzorcích byl stanoven obsah sušiny. Na aparatuře Oxi Top jsme stanovili produkci bioplynu z celé části rostliny. K testování byla použita aparatura Oxitop Control Merk. Ve třech opakováních byla fermentována odebraná sušina čiroků z jednotlivých termínů sklizně. Pro očkování fermentace byl použit kal z bioplynové stanice ZD Krásná Hora. Fermentace probíhala 28 dní.

Na pokusném poli lze doporučit pěstovat odrůdu Goliath při meziřádkové vzdálenosti 25 a 50 cm, Zerberus při meziřádkové vzdálenosti 25 cm. Tyto varianty produkovaly nejvíce methanu z jednotky plochy. Nejvyšší produkce byla zaznamenána ze sledovaných let u hybridu Goliath při meziřádkové vzdálenosti 25 cm v roce 2012, průměrný výtěžek methanu činil 6375 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, produkce bioplynu byla 9659 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. U hybridu Sucrosorgho byla největší produkce zaznamenána v roce 2012 při meziřádkové vzdálenosti 25 cm, průměrná produkce methanu byla 4984 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, průměrná produkce bioplynu byla 7708 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Goliath vyprodukoval o 1391 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> více methanu než Sucrosorgho. U odrůd se více osvědčily úzké meziřádkové vzdálenosti (25 a 50 cm), u těchto variant odrůdy vyprodukovaly nejvíce methanu z plochy, zde nastává prostor v řešení problematiky, zda úzké meziřádkové vzdálenosti mají méně negativní dopad na vodní erozi půdy, tím by mohl být čirok pěstován na svažitéjších pozemcích, kde kukuřice nesmí být pěstována. Byla potvrzena Hypotéza 2 „reakce hybridů čiroku cukrového na meziřádkovou vzdálenost je rozdílná“.

Po vyhodnocení výnosů methanu a bioplynu čiroku cukrového a porovnání s literaturou, lze konstatovat, že čirok je vhodnou alternativní plodinou za kukuřici pro bioplynové stanice. Potvrdila se hypotéza 1 „kvalita biomasy a výše výnosu sušiny čiroku cukrového je využitelná na produkci bioplynu“. Čiroky mají v porovnání s kukuřicí spousty pozitivních stránek.

**Klíčová slova:** čirok, meziřádková vzdálenost, bioplyn, energetické účely, obnovitelné zdroje

## SUMMARY

The aim of this thesis was to conclude all the knowledge about growing and possibilities of use of sugar sorghum in production of biomass suitable for bio gas production.

Attempts with sugar sorghum were started in 2010, 2011 and 2012 on the fields of research station in Červený Újezd. This research station is situated in sugar beet production area. In this attempt were compared hybrids of sugar sorghum Bovital by the SAATEN – UNION company, Sucrosorgho 506 by the Syngenta Czech company and Goliath-Biomass 133 by the Saatbau Linz company. The hybrid growths were established in the interlinear distance of 25, 50 and 75 centimeters. Small plot attempts were started in three repetitions with 12 m<sup>2</sup> size of plots. In each repetition there were 10 plants taken and examined. Evaluated characters were the height of plant, number of knees, thickness of the stem, the content of solid in % from the harvested biomass and the yield of solid from the aboveground part of the plant.

In the lab were tested each samples of sugar sorghum, taken from the low plot attempts. In these samples were determined content of solid. On the Oxi Top equipment we determined the production of bio gas in the whole part of the plant. For the testing, we used Oxitop Control Merk equipment. In three repetitions there were fermented and taken the solid of sorghum from all dates of harvest. After vaccination of fermentation we used the sludge from bio gas station ZD Krásná Hora. Fermentation lasted for 28 days.

On the attempt field we recommend the Goliath variety with interlinear distance 25 and 50 centimeters and Zerbeus with interlinear distance 25 centimeters. These varieties produced the biggest amount of methan from the unit of area. Highest production were registered in the observed years in Goliath hybrid with interlinear distance 25 centimeters in 2012. The average yield of methane was 6375 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, the production of bio gass was 9659 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. In Sucrosorgho hybrid the highest production were observed in 2012 with interlinear distance 25 centimeters, the average production of bio gass was 7708 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Goliath made 1391 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> more of methane, than Sucrosorgho. In the varieties there were better to use thinner interlinear distances (25 and 50 centimeters), in these variant of varieties they made the most methan on the unit of the area. Here is the place in problem solution, if thin interlinear distances have less negative impact on the water erosion of soil. By this it is possible to grow sorghum on the more sloping areas, where the maize should not be grown. The hypothesis Nr. 2 was confirmed „the reaction of hybrides of sugar sorghum on the interlinear distance is different“. After evaluations of methane yield and bio gass of sugar sorghum and after comparison with literature, we can say, that sugar sorghum is a possible alternative crop for maize for bio gass stations. Hypothesis Nr. 2 was confirmed „the quality of biomass and the size of the yield of solid of sugar sorghum is usable for biogass production“. Sorghums have in the comparison with maize many positive sides.

**Key words:** sorghum, interlinear distance, bio gass, energetic purposes, renewable resources

## OBSAH

1	ÚVOD.....	1
2	Vědecká hypotéza a cíle práce .....	3
3	LITERÁRNÍ REŠERŠE .....	4
3.1	Čirok.....	4
3.1.1	Historie .....	4
3.1.2	Výběr odrůd a šlechtění.....	4
3.1.3	Botanická charakteristika .....	6
3.1.3.1	Taxonomie .....	6
3.1.4	Morfologické znaky a stavba rostliny .....	8
3.1.4.1	Kořenový systém .....	11
3.1.4.2	Stéblo.....	12
3.1.4.3	Listy.....	13
3.1.4.4	Květenství.....	13
3.1.4.5	Zrno .....	14
3.1.5	Využití čiroků .....	15
3.1.6	Složení rostliny .....	17
3.1.7	Hlavní zásady pěstování čiroku .....	19
3.1.7.1	Nároky na stanoviště .....	19
3.1.7.2	Zařazení v osevním postupu .....	20
3.1.7.3	Příprava půdy .....	21
3.1.7.4	Založení porostu.....	22
3.1.7.1	Výživa a hnojení .....	24
3.1.7.2	Regulace plevelů.....	26
3.1.7.3	Choroby a škůdci .....	28
3.1.7.4	Sklizeň.....	29
3.1.8	Využití pro výrobu bioplynu a jeho přednosti v porovnání s kukuřicí .....	30
3.2	Bioplyn .....	33
3.2.1	Historie, terminologie a biomasa .....	33
3.2.2	Vznik a členění bioplynu.....	36
3.2.3	Anaerobní fermentace .....	38

3.2.3.1	Základní údaje o procesu.....	38
3.2.3.2	Obecné vlastnosti materiálu vhodného pro anaerobní fermentaci.....	41
3.2.4	Chemické složení bioplynu .....	44
3.2.5	Zařízení pro anaerobní procesy.....	44
3.2.5.1	Rozdělení zařízení.....	44
3.2.6	Využití bioplynu k energetickým účelům .....	46
4	MATERIÁL A METODY .....	48
4.1	Charakteristika stanoviště.....	48
4.1	Metodika pokusu.....	49
4.1.1	Maloparcelkové pokusy .....	49
4.1.2	Laboratorní pokusy .....	50
4.1.3	Charakteristika hybridů čiroku cukrového .....	51
4.2	Sledované ukazatele pokusu v letech 2010 - 2012 .....	52
4.2.1	Sklizňová sledování .....	52
5	VÝSLEDKY .....	53
5.1	Produkční ukazatele u hybridů čiroku cukrového.....	53
5.1.1	Vliv meziřádkové vzdálenosti vybraných hybridů čiroku na produkční ukazatele v roce 2010.....	54
5.1.2	Vliv meziřádkové vzdálenosti vybraných hybridů čiroku na produkční ukazatele v roce 2011.....	59
5.1.3	Vliv meziřádkové vzdálenosti vybraných hybridů čiroku na produkční ukazatele v roce 2012.....	64
5.1.4	Vliv ročníku na produkční ukazatele .....	69
6	DISKUZE.....	74
7	ZÁVĚR .....	77
8	SEZNAM LITERATURY .....	78
9	Přílohy.....	84

# 1 ÚVOD

V posledních letech se setkáváme v různých médiích s pojmem „obnovitelné zdroje energie“. Obnovitelnými zdroji energie považujeme nefosilní přírodní zdroje energie, jimiž jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu a energie bioplynu. Tyto zdroje energie, by měli sloužit jako částečné nahrazení za fosilní paliva. Fosilní paliva (ropa, zemní plyn a uhlí) a jaderná energie jsou chápány jako zdroje energie, které nemají obnovitelný charakter a mají omezené zásoby. Moudrý (1998) odhaduje, že vyčerpání světových zásob fosilních zdrojů energie, kromě uhlí, je možné očekávat v řádu desítek let. Uvádí se, že celkový podíl fosilních paliv na celkové spotřebě energie se odhaduje asi na 80 %. Za posledních několik desítek let zásoby těchto paliv silně klesají z důvodu světového populačního růstu a větší poptávce, hlavně v rozvojových zemích. Fosilní paliva mají také silný negativní vliv na životní prostředí, hlavně při spalování paliv dochází k emisím oxidu uhličitého a jiných skleníkových plynů do atmosféry, což může mít za následek podle některých autorů globální oteplování a klimatické změny. Proto je úsilí k postupnému přechodu od fosilních paliv k „obnovitelným zdrojům energie“.

Na území České republiky je zatím nadbytek zemědělské půdy, která není uplatnitelná pro produkci potravin a jednou z možností, jak využít tuto půdu, by mělo být pěstování energetických a průmyslových plodin (Petříková, 2006). V březnu 2007 se představitelé Evropské unie dohodli, že v roce 2020 má být 20 % energie členských států vyráběno z obnovitelných zdrojů, aby se omezily emise oxidu uhličitého. V ČR jsou nejvíce využívány jako obnovitelný zdroj energie Fotovoltaické články, ty přeměňují sluneční energii. Do popředí se dostává využívání rostlinné biomasy jako zdroj energie, ať už to je pro přímé spalování nebo k výrobě bioplynu. Pozitivními vlastnostmi využívání fytomasy pro výrobu energie je zabránění úniku nitrátů na nevyužívaných půdách, vytvoření nových pracovních příležitostí, finanční úspory a snížení závislosti na dovážení fosilních paliv.

K 31. 12. 2012 bylo v ČR vybudováno 481 bioplynových stanic o instalovaném výkonu 363,24 MW. Podíl energie z bioplynových stanic na OZE (obnovitelných zdrojích energie) činí 15,9 %. Nejvíce používanou rostlinnou surovinou pro výrobu bioplynu je kukuřičná siláž. Kukuřice jako plodina na orné půdě má spousty negativních dopadů na životní prostředí, především negativní vliv na vodní erozi půdy. V některých podnicích má



kukuřice vysoké zastoupení v osevních postupech, je zde tedy vyšší tlak ze strany chorob a škůdců a musí zde být více využívána chemická ochrana rostlin, což má také negativní vliv na životní prostředí. V ČR jsou oblasti, které nejsou vhodné pro pěstování kukuřice, proto je snaha najít některé alternativní plodiny, které by obohatily osevní postupy, snížily ekologické dopady na životní prostředí a byly zároveň schopné poskytnout dostatečné množství biomasy z plochy jako kukuřice.

Jako vhodnou alternativní plodinou by mohly být čiroky, které jsou schopné poskytnout v podmínkách ČR výnosy jako bioplynové kukuřice a v horších půdních podmínkách a v letech s extrémními suchy by mohly čiroky dosáhnout vyšších hektarových výnosů.

## **2 Vědecká hypotéza a cíle práce**

Cílem diplomové práce je zhodnotit možnosti využití čiroku cukrového k produkci biomasy vhodné pro výrobu bioplynu.

Posoudit produkční schopnost vybraných odrůd čiroků.

Posoudit vliv struktury porostu na produkční schopnosti čiroku cukrového v ČR.

Hypotéza 1

Kvalita biomasy a výše výnosu sušiny čiroku cukrového je využitelná na produkci bioplynu

Hypotéza 2

Reakce hybridů čiroku cukrového na meziřádkovou vzdálenost je rozdílná

## 3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

### 3.1 Čirok

#### 3.1.1 Historie

Čirok je jednou z nejdéle pěstovaných plodin (Wermuth et al., 2012). Podle Wetta (1967) je čirok prastará kulturní rostlina, o jejímž původu existuje více názorů. Nejspíš čirok pochází ze tří genových center, východoasijského, indického a afrického. Jako obilnina zaujímá čtvrté místo za pšenicí, rýží a kukuřicí. V roce 2010 byl čirok na celém světě pěstován na rozloze 40 508 600 ha (FAO, 2012). Největší plochy s čírokem jsou v současné době v Africe (Singh Faujdar Rai et al., 1997).

Někteří autoři uvádí, že původ číroku je pravděpodobně tropická Afrika. A do Spojených států byl dovezen z Evropy. V Sev. Americe se začala rozšiřovat čínská varieta „*Chinese Amber*“ jako krmná pícnina odolná vůči suchu. V roce 1940 byla v Americe čírokem oseta plocha asi 6 milionů ha, z toho byly 3 miliony ha číroku zrnového, 2 miliony ha na píci a siláž a 1 milion ha číroku cukrového (Martin, 1940).

První zmínky o číroku v Evropě jsou v polovině 19. století, a to ve Francii, kam jej dovezl Angličan. Z Evropy se teprve tato plodina šířila do Severní Ameriky. První zpráva o číroku cukrovém v střední Evropě se objevila asi v r. 1868 (Vukov v Debrecíně), ale až o 70 let později byla v Maďarsku zavedena zušlechtěná, šťavnatá a bohatě cukernatá odrůda (Stuchlík, 1951). Je mínění, že ho už pěstovali ve starém Egyptě. Podle mnohých údajů a historických záznamů už židé znali čirok a pěstovali ho jako kulturní rostlinu (Špaldon et al., 1954).

#### 3.1.2 Výběr odrůd a šlechtění

Výběr odrůd a šlechtění jsou u jednotlivých druhů číroků rozdílné a řídí se podle užitkového směru jednotlivých druhů. Čirok je velmi variabilní z hlediska genetických zdrojů, což usnadňuje šlechtění a vývoj nových odrůd přizpůsobených jednotlivým regionům na celém světě (Zhang et al., 2010).

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 et al., 2006).

Čirok zrnový se pěstuje většinou na zrno, které se používá pro potravinářské účely, v menší míře na krmné nebo výrobu škrobu či piva. Může se používat jako krmivo buď v zeleném stavu, nebo jako siláž. Zrnové čiroky mají pro naši oblast dlouhé vegetační období. Při výběru odrůd zrnového čiroku volíme sorty s nejkratším vegetačním obdobím. Při šlechtění jeden z nejdůležitějších cílů je co nejvíce zkrátit vegetační období, aby čirok dozrál i v nepříznivých letech. Další důležitou vlastností je složení zrna, které má vyhovovat pěstovanému směru. V potravinářství je důležitý tvar zrna, velikost a schopnost obrušování. Také vysoký obsah taninu může zrno pro potravinářské účely znehodnotit a snížit jeho využití jako krmivo. Při šlechtění se musíme řídit těmito stanovenými zásadami (Špaldon et al, 1954).

Při výběru odrůd a šlechtění cukrového čiroku přihlížíme na účel pěstování. Cukrový čirok se pěstuje jako průmyslová rostlina na výrobu sirupu i jako krmná plodina. U nás nemáme odrůdy čiroku cukrového, které by dozrávaly, a proto osivo dovážíme. Při použití pro výrobu sirupů je důležitý obsah cukrů (asi 17 %), stébla vydržela dlouho nedřevnatá a bylo možné z rostlin lisovat velké množství šťávy dobré jakosti. Důležité je také zkrátit vegetační období, zvýšit výnos biomasy. Při šlechtění odrůd na výrobu sirupu musíme přihlížet na délku vegetačního období, aby semeno bezpečně dozrálo a na vysoký obsah cukrů (poměr mezi sacharózou a redukujícími cukry), na obsah škrobu, odnožování atd. (Stuchlík, 1951).

Metlový čirok má také poměrně dlouhé vegetační období a nemá odrůdy, které by vyhovovaly našim klimatickým podmínkám. Pěstuje se tam, kde dozrávají pozdní odrůdy kukuřice. Při výběru odrůd a šlechtění se řídíme délkou vegetačního období a nároky průmyslu na jakost suroviny. Osivo si můžeme obstarat sami z běžných porostů, kde jsou větší plochy čiroku. Při sběru vybíráme pouze úplně vyzrálé rostliny, které mají dostatečně dlouhé laty a vyhovují vlastnostem, potřebným pro první jakostní třídu. Laty by měly být dlouhé 50 – 60 cm, případně 70 – 80 cm (Špaldon et al., 1954).

### 3.1.3 Botanická charakteristika

#### 3.1.3.1 Taxonomie

Rod čiroků (*Sorghum* Moench.) patří do skupiny vousatkovité (*Andropogoneae*), čeledi *Poaceae* – lipnicovitých, podčeledi *Panicoidae* – prosovitých (Hermuth et al., 2012). Kára et al. (2005) uvádí, že čiroky vytvářejí velmi mnoho forem, které se pěstují ve všech světadílech. Na území ČR se zatím nepěstují ve velké míře, u nás se můžeme setkat s plochami čiroku cukrového, který je využíván jako krmná plodina pro skot nebo pro energetické účely. Osivo se u nás a ani na Slovensku neprodukuje, musí se dovážet ze zahraničí.

Stuchlík (1951) uvádí, že výchozím botanickým druhem všech čiroků je nejspíše halepský čirok, někdy nazývaný též „Alepské proso“ (*Sorghum halepense* ( L ) Pers., *Andropogon h.*). Halepský čirok je divokou plodinou, která se stala v subtropických krajinách úporným plevellem, protože zde přes zimu nevymrzá kvůli teplému podnebí. Jeho primitivní jednoletou formou je „súdánská tráva“ (*Sorghum vulgare* var. *sudanense*), která pochází z anglo-egyptského Sudanu.

Rod *Sorghum* má 40 – 50 jednoletých i víceletých druhů kulturních i divokých, které se velmi těžko mezi sebou rozpoznávají (Špaldon et al., 1954).

Systematikou tohoto rodu se zabývala spousta autorů, ale dosud není uspokojivě vyřešena. Dnes se uvádí pouze jeden polymorfní druh *S. bicolor* s dvěma poddruhy, několika varietami a řadou forem (Wett et al., 1967). Mansfeld (1952) vytvořil svou klasifikaci, která se však v zemědělské praxi využívá nejčastěji. Čirok dělí na čtyři variety podle praktického využití:

- Čirok obecný (*S. vulgare* var. *eusorghum*). Hlavní využití této variety je především na zrno, které obsahuje značný obsah bílkovin a škrobu. Tato forma má nižší vzrůst oproti čiroku cukrovému. Tento druh obsahuje málo taninu, proto je ho využíváno ve výživě. Obsah škrobu je 70 %.
- Čirok technický (*S. vulgare* var. *technicum*). Má silně vyvinutou latu, která se využívá jako surovina k výrobě košťat a kartáčů. U této formy je zrno požadováno jako vedlejší produkt.
- Čirok cukrový (*S. vulgare* var. *saccharatum*). Má šťavnatou dřev i v biologické zralosti zrna. Šťáva obsažená v dřeví obsahuje značné množství cukrů. Používá se jako krmná, zejména silážní rostlina. Někdy se lisuje ze stébel šťáva, ze které

se dá vyrábět líh, sirup apod. Lze ho také využít k energetickým účelům, hlavně k výrobě bioplynu.

- Čirok sudánský (*S. vulgare* var. *sudanense*). Tato forma se především vyznačuje tenkým stéblem, které je však bohatě olistěné a za vhodných podmínek je schopná poskytnout velké množství hmoty. Je kvalitní píceinou. Je také vhodný pro případné energetické využití.

V rámci jednotlivých hospodářských skupin je mnoho sort, které se liší především vzrůstem, morfologickými vlastnostmi laty a zrna. Nejčastější různorodost je v rámci skupiny čiroku zrnového. Jednotlivé sorty rozlišující se podle vlastností můžeme rozdělit do 5 ekologicko-geografických skupin (Špaldon et al., 1954):

- Západoafrická, guinejská nebo skupina nahosemenného čiroku - **čirok guinejský** (*Sorghum guinense*). Pěstuje se nejvíce v západní Africe. Má dlouhé a úzké listy a drobnou latu. Zrno je při dozrání úplně volné a snadno vypadává. Velmi dobře odnožuje a po kosení dobře obrůstá (může růst na stanovišti i několik let). Je velmi pozdní a má největší nároky na teplo a vláhu z čiroků.
- Západoafrická skupina – **čirok bantský** (*S. bantum*) – je nejrozšířenější ve střední a východní Africe. Listy má poměrně dlouhé a velmi svěšené. Zrno má okrouhlé nebo vejcovité a velmi obnažené. Má hrubý semenný obal a pod ním tmavou vrstvu. Klásky při dozrání snadno vypadávají. Je poměrně pozdní a má velké nároky na teplo a vláhu. Je odolný sněti, ale málo odolný proti bakteriální skvrnitosti listů. Lépe se mu daří na těžších a hlinitých půdách a může se vysévat do větší hloubky (7 – 8 cm). V Africe slouží jako potravina, na výrobu piva a jiných nápojů.
- Jihoafrická skupina – **kaferský čirok** (*S. caffrum*). Je nejrozšířenější v jižní Africe. Sorty této skupiny mají stéblo obvykle nízké, odolné proti větru a dobře olistěné. Listy jsou rovné a poměrně široké a často se navzájem obklopují svými pochvami. Zrno je velmi obnažené a lehce vypadává. Je poměrně pozdní, dostatečně odolný suchu a chladu (zejména na počátku vývoje). Je velmi výnosný a zrno má vysoký obsah škrobu. Rostliny málo odnožují. Podle šťavnatosti a cukernatosti stébla se tato skupina dělí na dva typy:
  - Čirok kaferský s málo šťavnatým stéblem (*S. caffrum aridocaulis*).

- Čirok kaferský se šťavnatým stéblem (*S. caffrum humidocaulis*) – pěstuje se na zrno, zelené krmení a siláž.
- Africkoasijská skupina – **chlebový čirok** (*S. durrha*). Je nejvíce rozšířený v severovýchodní Africe a jihozápadní Asii. Sorty této skupiny mají listy poměrně ohnuté. Zrno je značně obnažené, zploštělé nebo vypouklé, kulaté nebo vejcovité. Sorty této skupiny jsou velmi odolné suchu, náročné na teplo, citlivé na nízké teploty nejvíce na počátku svého vývoje, mají různě dlouhé vegetační období a velké zrno dobré jakosti, vhodné na krmení i jako potravina. Podle tvaru a charakteru přisedajících klásků, květních plev a zrna se tato skupina rozděluje na tři typy:
  - *Sorghum durrha abyssinicum* – čirok zrnový abesínský.
  - *Sorghum durrha sudanicum* – čirok zrnový sudánský.
  - *Sorghum durrha asiaticum* – čirok zrnový asijský.
- Východoasijská skupina nebo gaolian – **čirok čínský** (*S. chinense*). Je nejvíce rozšířený v Číně, Korei a v Japonsku. Sorty této skupiny mají listy, které se lehce poškozují a při dozrávání opadávají. Zrno je poměrně malé a obvykle na hřebení straně trochu zmáčknuté. Specifika této skupiny jsou převážně ranost v porovnání se jinými čiroky, malé nároky na teplo, rychlý růst zejména v prvních vývojových fázích, zvýšený obsah bílkovin a tuku v zrně a také obsah taninu v semenném obalu, který dává zrně nahořklou chuť. Tato skupina je odolnější a životaschopnější v nepříznivých podmínkách při setí. Podle charakteru endospermu (škrobnatý nebo sklovitý) dělíme tuto skupinu na dva typy:
  - Gaolian obyčejný (*S. ch. communis*) – čirok čínský obyčejný.
  - Gaolian voskovitý (*S. ch. glutinosus*) – čirok čínský voskovitý.

Stuchlík (1951) konstatuje, že někteří autoři však rozdělují rod čirok jinak. Všechny tyto druhy mají velmi podobnou agrotechniku (Kára et al., 2005).

### 3.1.4 Morfologické znaky a stavba rostliny

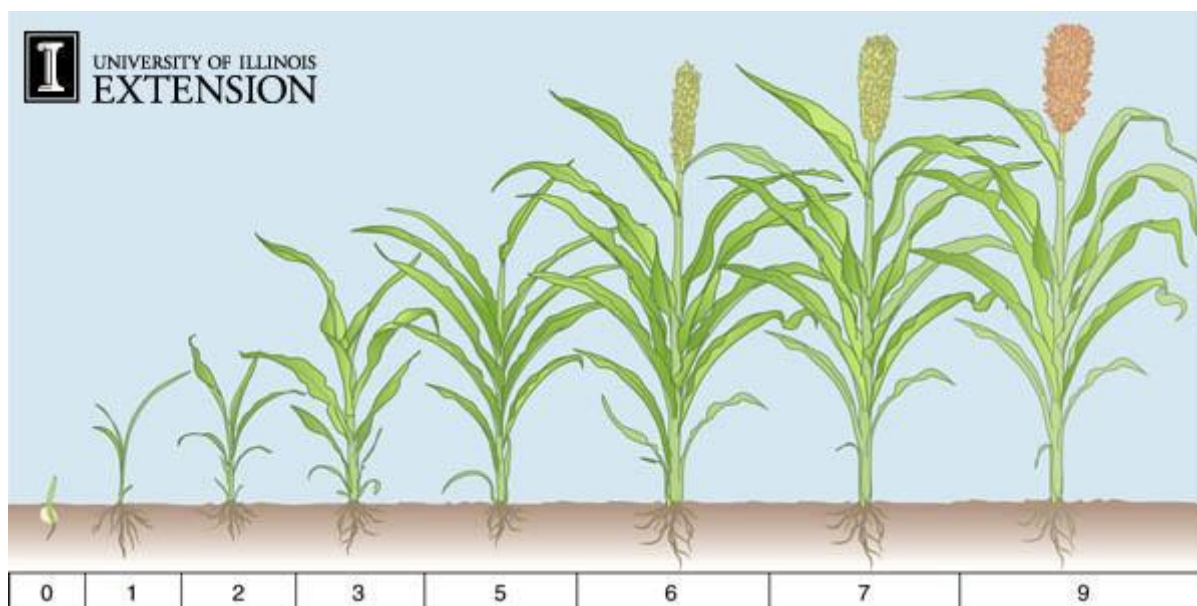
Morfologická stavba všech čiroků je velmi podobná. Rostliny jsou v optimálních klimatických a půdních podmínkách většinou mohutného vzrůstu, silně olistěny s méně nebo více vyvinutou latou, která má charakteristické utváření (Hermuth et al., 2012).

Tabulka 1 BBCH stupnice čiroku (KWS, 2011)

BBCH code	Definice
<b>0 Klíčení</b>	
0	Suchá obilka
1	Počátek bobtnání
3	Konec bobtnání
5	Klíční kořínek prostoupí semenem
7	Koleoptile prostoupí semenem
9	Koleoptile proniká nad povrch půdy
<b>1 Růst listů</b>	
11	Stadium 1. listu (2. list vyrůstá z pochvy 1. listu)
12	Stadium 2. listu (3. list vyrůstá z pochvy 2. listu)
13	Stadium 3. listu (4. list vyrůstá z pochvy 3. listu)
19	5 a více listů, odnožování může začít od fáze 13., v tomto případě přechází do 21. fáze
<b>2 Odnožování</b>	
21	Začátek odnožování, 1. viditelná odnož
22	2. viditelná odnož
23	3. viditelná odnož
29	9 a více viditelných odnoží. Pokud fáze prodlužování začíná dříve, v tomto případě přechází do 31. fáze
<b>3 Prodlužovací růst</b>	
30	Začátek prodlužovacího růstu hlavního stébla a odnoží
31	Stadium 1. Uzle
32	Stadium 2. Uzle
33	Stadium 3. Uzle
34	Stadium 4. Uzle
37	Objevení posledního listu (praporcového)
39	Praporcový list je plně rozvinutý
<b>4 Naduřování pochvy</b>	
41	Pochva praporcového listu se prodlužuje
43	Pochva praporcového listu se začíná naduřovat
45	Pochva praporcového listu je naduřelá
47	Pochva praporcového listu se otevírá
<b>5 Metání</b>	
51	Začátek metání: špička laty se objeví nebo je tlačena do strany z pochvy
55	Plné metání: základ laty je stále v pochvě
59	Konec metání: lata je plně viditelná
<b>6 Kvetení</b>	
61	Začátek kvetení: jsou viditelné první prašníky
65	Plné kvetení: 30 % prašníků je zralých
69	Konec kvetení
<b>7 Vývoj obilky</b>	
71	Začátek tvorby zrna
73	Časná mléčná zralost
75	Střední mléčná zralost: všechny zrna dosáhly své konečné velikosti
77	Pozdní mléčná zralost
<b>8 Zrání</b>	
83	Časná vosková zralost
85	Vosková zralost: obilka je měkká
87	Žlutá zralost: obilka je pevná
89	Plná zralost: zrno je těžké, pevné
<b>9 Stáří (odumírání)</b>	
92	Přezralost
93	Zrno se během dne uvolňuje
97	Rostlina je úplně mrtvá, stonky se lámou
99	Prodělání dormance obilek



Obr. č. 1 – Růstové fáze čiroku (Anonym, 2013).



Můžeme rozlišit tyto růstové fáze (Hermunth et al, 2012):

- Fáze 0** Obilky klíčí 3 až 10 dní po výsevu v závislosti na teplotě, vlhkosti a hloubce výsevu.
- Fáze 1** Fáze prvních tří pravých lístků, objevují se zpravidla 10 až 14 dní po vzcházení, je závislá na teplotě.
- Fáze 2** Fáze pěti pravých lístků, asi 3 týdny po vzcházení, fáze rychlého rozvoje a nárůstu kořenné hmoty, v této fázi se zakládá na budoucí výnos, veškerý stres (plevelé, škůdci, nedostatek vody apod.) mohou dramaticky snížit výnos.
- Fáze 3** V této fázi se vegetativní růst mění na generativní, kdy se začíná zakládat květenství, vysoký příjem živin a vody, nutný obsah živin v půdě, rostliny jsou schopné konkurence vůči plevelům, asi 30 dní po vzcházení v závislosti na teplotě.
- Fáze 5** V této fázi jsou vyvinuté a plně rozvinuté všechny listy, čímž je zajištěna maximální listová plocha a zachycení světla. Květenství je znatelné v listové pochvě, rychlá spotřeba živin a vody pokračuje, nedostatek vláhy nebo špatná herbicidní ochrana může v této fázi zamezit vymetání a opylení laty.
- Fáze 6** Fáze, kdy polovina rostlin na pozemku kvete. Lata nakvétá odshora dolů, kvetení jedné laty probíhá 4 až 9 dní. V této fázi již rostliny dosahují poloviny sušiny, kterou vytvoří. Tato fáze nastává asi ve 2/3 doby nutné od

setí do fyziologické zralosti. Nedostatek vláhy může způsobit špatné nalévání zrna.

**Fáze 7** V této fázi je zrno v mléčné zralosti (zrno konzistence dough – like), spodní listy odumírají, na rostlině zůstává cca 8 až 12 listů.

**Fáze 9** Fáze plné fyziologické zralosti, závislá na odrůdě, hybridu i podmínkách prostředí, sušina v této fázi je cca 25 až 35 %.

Rostliny čiroků patří mezi rostliny typu C4, což hlavně svědčí o tom, že dobře snáší sucho, neboť umí dobře hospodařit s vláhou. Čiroky jsou plodinami teplomilnými, takže se pěstují v teplejších oblastech (Brabás, Bányai, 1985). Čirok s kukuřicí mají velký hospodářský význam v suchých oblastech. Tyto dvě plodiny se navzájem doplňují. Čirok jako rostlina je teplomilnější než kukuřice, ale zároveň odolnější suchu a méně náročná na půdu, může tedy nahradit kukuřici v oblastech, kde úroda kukuřice vlivem suchého počasí je nestálá. Čirok má dlouhé vegetační období a umí velmi dobře využít případné srážky. Má tedy opodstatněný a důležitý význam na jižní Moravě, jihovýchodě a jihozápadě Slovenska (Špaldon et al., 1954). Stuchlík (1951) uvádí, že se čirok z botanického hlediska podobá stéblem a uspořádáním mohutných kořenů kukuřici, tvarem lat a některými fyziologickými vlastnostmi spíše prosu. Petříková et al. (2006) uvádí, transpirační koeficient je u čiroku 200 litrů vody na 1 kg sušiny. Zatímco kukuřice má 300 litrů na 1 kg sušiny.

Tabulka 2 Porovnání transpiračního koeficientu čiroku, pšenice a kukuřice (Špaldon et al., 1954)

	Transpirační koeficient	Produktivita transpirace
Pšenice	513	1,92
Kukuřice	368	2,72
Čirok	322	3,11

#### 3.1.4.1 Kořenový systém

U čiroků se obecně uvádí, že to jsou jednoleté a víceleté statné trávy s bohatě rozvětveným hluboko kořenícím kořenovým systémem, který bývá větší v porovnání s kukuřicí (Špaldon et al., 1954). Kořeny sahají až do hloubky 140 – 170 cm a do šířky 60 – 120 cm, to umožňuje čiroku čerpat vodu a živiny i z hlubších vrstev a umí dobře využít životní prostor mezi řádky (Hermuth et al., 2012). Na kořenech je mnoho kořenových vlásků,

což zvyšuje schopnost absorbovat vodu a živiny, proto se hodí do sušších stanovišť (House, 1985). Primární kořinky se objevují během klíčení, nejsou větvené nebo jen velmi málo. Sekundární kořeny vyrůstají z prvního nodu. Z těchto kořenů se vyvíjí základ mohutného kořenového systému. Primární kořeny postupně odumírají (Špaldon et al., 1982). Krom podzemních kořenů, se z několika stéblových uzlin vytvářejí vzdušné kořeny, které dobře upevňují rostlinu v půdě, takže ani husté porosty nepolehnou při silných větrech (Kára et al., 2005). Kořeny se rozprostírají do šířky i do hloubky, čímž se liší od ostatních obilnin (Špaldon et al., 1954).

#### 3.1.4.2 Stéblo

Rostliny čiroku vytvářejí četná stébla vyplněná dřevní obsahující sladkou šťávu (Moudrý, Stražil, 1999). Stéblo čiroků je silné, cylindrické, tvrdé, na povrchu inkrustováno křemičitany, s lesklým povrchem, často zcela nebo částečně zbarveným do různých odstínů (Hermuth et al., 2012). Články (internodia) mezi kolénky jsou vyplněny šťavnatou dužninou, která obsahuje sacharidy (Špaldon et al., 1982). Do kvetení je dřev štávnatá a sladká, při dozrávání vysychá (Hermuth, 2010). Šťáva ve stéblu obsahuje až 18 % cukru (Petříková et al., 2006).

Stéblo bývá vysoké 2 - 3 m a i vyššího vzrůstu, o průměru 1,5 - 3 cm. Na mohutnost vzrůstu silně působí prostředí, také hodně záleží na výživě (Stuchlík, 1951). Špaldon et al. (1954) uvádí, že rostliny čiroků mohou dosáhnout výšky až 5 metrů. Podle výšky stébla můžeme čiroky rozlišit na zakrslé – nižší jak 1m, nízké 1 – 1,5 m, středně vysoké 1,5 – 2 m, vyšší 2 – 2,5 m a vysoké 2,5 m a více (Špaldon et al., 1982).

Stéblo je rozděleno kolínky (nody) na jednotlivá internodia, jejichž počet závisí na jeho délce a pohybuje se v rozmezí od 5 do 20 i více. Počet článků na hlavním stéble je v přímém vztahu s délkou vegetačního období. Genotypy s počtem článků 5 – 11 řadíme mezi rané, 11 – 16 mezi polorané a 16 – 20 a více článků mezi pozdní genotypy (Hermunth et al., 2012). Rané odrůdy vykazují slabší průměr stébla než odrůdy pozdní (Stuchlík, 1951).

Rostlina čiroku se může za normálních poměrů odnožit bočními (vedlejšími) stébly, která vyrůstají z pupenů, vytvořených v úzlabí pochvy spodních listů (Stuchlík, 1951). Tyto odnože se většinou vyskytují u porostů, které jsou řídké a na půdách dobře vyhnojených. Počet stébel na jednom trse je velmi rozmanitý a kolísá od 1 – 10 i více. Podle tohoto znaku můžeme čiroky rozdělovat na slabě odnožující (1 – 2 odnože), středně odnožující (3 – 5 odnoží) a silně odnožující (5 – 8 a více stébel) (Špaldon et al., 1954).

### 3.1.4.3 Listy

Listy jsou po stéble u čiroku rozmístěny v závislosti na genotypu. U některých jsou listy koncentrovány na bázi stébla, u jiných jsou rovnoměrně rozloženy v celé délce stébla. Listy na bázi stébla jsou většinou kratší než listy ve střední a vyšší části stébla (Hermuth et al., 2012). Petr et al. (1997) uvádí, listy čiroku se podobají listům ostatních trav, jen dosahují větších rozměrů. Listy jsou široké 5 – 10 cm a 50 – 80 cm dlouhé. Jsou pokryté slabým voskovým povlakem jako stébla. Takto se zakrývá vlastní barva listů, která mívá rozličné odstíny zelené barvy – od jasně zelené až po sytě zelenou. Rané odrůdy čiroku mají 7-9 listů, pozdní odrůdy mohou tvořit i 15 listů. Rostlina má plochou listovou čepel, jež má žilnatinu rovnoběžnou s okrajem. Listy má hladké, na lici jsou pokryty voskovitým povlakem. Podle střední žilky můžeme někdy usuzovat o šřavnatosti stébla, podle zbarvení této střední žilky lze také usuzovat o odrůdě čiroku, je tedy častým rozpoznávacím znakem při určování odrůdy (Stuchlík, 1951). V lepších podmínkách vytváří čirok méně listů než v horších, např. v Indii v lepších podmínkách je průměrný počet listů na rostlinu 14 až 17, v horších podmínkách je to i přes 30 (House, 1985). V současné době existují tzv. BMR formy čiroků. Jedná se o odrůdy se zvýšenou stravitelností, jejichž vnějším znakem je hnědé střední žebro – nerv (Brown Mid Rib). BMR formy jsou předmětem velmi intenzivního šlechtění především u sudánské trávy nebo kříženců *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*. Odrůdy mají snížený obsah ligninu o 40 – 60 % (Hermuth et al., 2012). Listence v latě na vrcholu stébla obvykle zaschnou, dříve než rostlina dozraje (Špaldon et al., 1982).

### 3.1.4.4 Květenství

Květenství je nejlepším rozpoznávacím znakem u čiroků (Špaldon et al., 1954). Květenstvím je přeslenitá lata s jednokvětými klásky, formovaná podle délky hlavní osy a bočních větvíček (Petříková et al., 2006). Je to lata rozličného tvaru a velikosti. Lata může být vzpřímená, nakloněná nebo překlونěná (Špaldon et al., 1954). Podle hustoty lavy může být volná, stlačená (uťatá) a kompaktní. Tvar lavy je závislý od počtu, délky a polohy vedlejších větvíček v různých částech a také od délky hlavní osy květenství. Tvar lavy může být: elipsovitý, prodloužený, cylindrický, oválný, vejcovitý, pyramidální atd. (Stuchlík, 1951).

Délka lavy se pohybuje v rozmezí 12 – 30 cm, záleží na odrůdě. Klásky jsou eliptické, o různé délce a různém průměru, bývají hřbetem dovnitř vyduté. Přisedlé klásky jsou dokonale obojaké, a tedy většinou plodné, kdežto klásky stopkaté jsou prašnikové (bez plodů). V každém vyvinutém kvítku je jeden pestík a tři tyčinky. Květy se otvírají za

příznivého počasí v dopoledních hodinách (Špaldon et al., 1982). Optimální teploty pro kvetení jsou 21 – 35 °C. Lata začíná kvést asi třetí den po metání. Nejdříve kvetou květy na vrcholu laty, pak na okrajích a potom kvetou spodní a uvnitř laty. Kvetení laty trvá asi 7 -10 dní. Kvetení celého porostu se může protáhnout i na celý měsíc (Špaldon et al., 1954). Otevřené květy umožňují opylení cizím pylem a tím pádem jsou to rostliny cizosprašné, ale také se mohou opylit vlastním pylem (Petříková et al., 2006). House (1985) uvádí, čirok je primárně samosprašný, ačkoliv se může objevit i určité procento cizosprašnosti. To je dáno v závislosti na typu květenství. U shloučených a poloshloučených květenství to je do 10 %. U rozkladitých a otevřených květenství může dosáhnout až 60 %. Po opylení se zrno začne rychle vyvíjet a mléčná zralost nastává dost brzo. Avšak do úplného vyzrání semene je potřeba poměrně hodně času, protože stéblo zůstává dlouho zelené, šťavnaté a zásobuje zrno vodou. Dozrávání probíhá podobně jako u kvetení. Květy na dolní části a uvnitř laty nedozrávají. Sterilní květy obvykle opadají a zůstanou po nich jen drobné plevy. Dozrálé zrno se při mlácení často olamuje i s částmi větviček (Špaldon et al., 1982).

Rostlina u nás kvete většinou v září, když dosáhne výšky 1,8 - 2,3 m (Vinall et al., 1936).

#### 3.1.4.5 Zrno

Zralá obilka je obalena tenkou, bezosinou pluškou, osinatou pluchou a vně tuhými pluchami. Semena čiroku se vyznačují větší velikostí než semena prosa (Vinall et al., 1936; Petříková et al., 2006). Podle odrůdy čiroku jsou semena tvaru oválného až eliptického, rozličně zbarvená a různé velikosti, záleží na odrůdě, také semena mohou částečně sloužit jako rozpoznávací znak při určování odrůd (Stuchlík, 1951).

Obilka čiroku je složena ze tří hlavních částí – perikarp (obal), endosperm (zárodek) a embryo (klíček). Relativní poměr těchto částí je 6 : 84 : 10 %. Perikarp je dále dělen na tři části – epikarp, mesokarp a endokarp. Epikarp je vnější vrstva, která je většinou pokryta voskovou vrstvou. Mesokarp může obsahovat škrobová zrna a jeho síla se může lišit v závislosti na odrůdě. Endokarp hraje důležitou roli při klíčení. Endosperm je tvořen aleuronovou vrstvou a moučným a sklovitým endospermem. Aleuronová vrstva obsahuje velké množství bílkovin a enzymů, popelovin a tuku (Roney, Saldivar, 2003). Zeller (2000) uvádí podobné složení obilky čiroku, endosperm z obilky činí 82,3 %, klíček 9,8 % a obal 7,9 %.

Hmotnost 1000 zrn (HTZ) se pohybuje v rozmezí 3 – 80 g. Pěstované odrůdy mají obilku většinou 4 mm dlouhou, 2 mm širokou a 2,5 mm silnou s HTZ 25 – 35 g. Podle

absolutní váhy rozeznáváme genotypy drobnozrnné s HTZ menší než 20 g, se středně velkým zrnem s HTZ 20 – 30 g a velkozrnné s HTZ nad 30 g (Hermuth et al., 2012). Charakteristickou vlastností některých čiroků je, že obsahují značné množství tříslovitých látek (Stuchlík, 1951).

Obilky čiroku obsahují cca 70 % škrobu. Podíl amylosy činí 21 – 34 %, amylopektinu 65 – 80 %. Z rozborů čiroků byl průměrný obsah škrobu 69,5 %, bílkoviny kolísaly v rozmezí 8 – 16 %, tuků 3,3 %, popelovin 1,9 % (Jambunathan, Subramainian, 1988).

Obsah látek je závislý na pěstební technologii. Obsah bílkovin je velmi ovlivněn hnojením dusíkem. Zvyšuje zejména podíl prolaminové frakce, jež se nazývá u čiroku kafirin. Tato frakce se vyznačuje nízkým obsahem lysinu, argininu, histidinu a tryptofanu, ale obsahuje hodně prolinu a glutaminu (Petr et al., 2003).

Tabulka 3 Obsah prvků v rostlině čiroku z různých měření (Petříková et al., 2006).

Termín sklizně	Obsah prvků v % sušiny čiroku					
	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	0,011	0,8
Průměr	0,969	0,102	0,788	0,277	0,135	0,848

### 3.1.5 Využití čiroků

Možnosti využití čiroků, všech forem jsou velmi široké (Hermuth et al., 2012). V mnohých krajinách jako je Afrika a Asie, tak se zrno z čiroků převážně používá na přípravu potravin (chleba, kaše atd.). Velké zastoupení zrna je také ke krmení dobytka, kdy je zrno bráno jako jaderné krmivo pro prasata a hovězí skot (Špaldon et al., 1954). Zrno také samozřejmě slouží i jako osivo, surovina pro získávání škrobu, lihovarnický a pivovarnický průmysl. Stonky obsahující sladkou šťávu lze využít k výrobě lihu, ale také k produkci bioplynu (Petříková et al., 2006). V poslední době se začíná razantně používat k produkci etanolu jako paliva z biomasy (Martin et al., 2006). Průmyslové využití čirokové mouky je pro výrobu lepidel, olejů a škrobu (Martin, McMaster, 1952).

Petříková (2004) uvádí, pro energetické účely se nejvíce využívá čirok „súdánská tráva“ (*Sorghum vulgare* var. *sudanense*), je vhodný pro přímé spalování. Pro přímé spalování

lze použít i čirok cukrový, ale ten je méně vhodný, protože obsahuje vysoké množství cukru v dužnině a díky tomu je až do sklizně vodnatý.

Díky vysokému výnosu biomasy (cca okolo 50 t.ha<sup>-1</sup>, nejsou výjimky výnosů i přes 100 t.ha<sup>-1</sup>) o sušině až 35 % se dá řadit jako velmi vhodná surovina pro biologickou fermentaci, a tím i pro produkci bioplynu (Sanderson et al., 1992). V podmínkách České republiky se odrůdy a hybridy čiroku využívají především pro krmné účely a na výrobu bioplynu (Podrábský, 2008). V suchých oblastech převyšuje úrodou zrna a zelené hmoty kukuřici a i jiné krmné plodiny, protože roste i za velkého sucha, pojmenovali ho „rostlinou světa“ (Špaldon et al., 1954). Bohužel spousta majitelů bioplynových stanic však tuto plodinu nepěstují, protože vyprodukuje z tuny siláže méně methanu v porovnání s kukuřicí, ale díky vyšším výnosům čiroku může z hektaru vyprodukovat více methanu než kukuřice. Jde především o malé skladovací kapacity na siláž, protože kdyby provozovatelé stanic chtěli skladovat siláž z čiroku, bylo by zapotřebí větších skladovacích kapacit v porovnání s kukuřicí (Klimiuk et al., 2010).

Tabulka 4 Výnosy suché hmoty v t.ha<sup>-1</sup> vybraných druhů rostlin (Pastorek et al., 2004).

Rostliny	Výnos ( t.ha <sup>-1</sup> )
Čirok cukrový	14,77
Hyso	19,33
Čirok zrnový	9,83
Konopí	12,05

Čirok cukrový poskytuje sacharidové krmivo se širokým poměrem dusíkatých látek a energie (1:10) vhodné na zelené krmení, méně vhodné na silážování (Jančovič et al., 2005). Čirok cukrový je vhodný pro zkvalitnění krmivové základny a také k průmyslovému zpracování. Často se obě tyto využití kombinují. Při silážování hmoty dochází ke ztrátě vysokého podílu sušiny (cukru). Vysoký obsah cukru je tedy příčinou, proč se čerstvý čirok nehodí bez předešlé úpravy k silážování. Při silážování podléhá rozličným kvasným procesům. Při silážování cukrové řepy dochází ke ztrátě 30 i více procent cukru. K podobnému případu dochází i při silážování čiroku cukrového. Proto je vhodné před silážováním hmoty oddělit nadbytečný podíl cukru lisováním, získaná šťáva se dá využít k průmyslovému zpracování. Krmná hodnota siláže nebo zeleného krmiva je přibližně stejná jako u kukuřice (Špaldon et al., 1954). Pokud se zkrmují rostliny v čerstvém stavu, tak

využíváme vysoký obsah cukrů dokonale. Rostliny čiroku cukrového mohou tvořit odnože, odnože se nechávají vyrůst do výšky zhruba 50 cm a odstraňují se. Tyto odnože lze použít jako krmivo dobytku. Vhodné jsou pro skot, prasata, koně a i pro drůbež (Stuchlík, 1951). Krmit se musí předem zaschlé, neboť se tím předejde možné otravy zvířat kyanovodíkem. Čirok obsahuje glykosid dhurrin, z kterého se kyselou hydrolyzou uvolňuje kyanovodík. Dhurrin je ve všech částech rostliny, ale nejvíce je obsažen ve výhonech (odnože). Zaschnutím na slunci se kyanovodík snižuje a mizí. Stárnutím rostliny se glykosid ztrácí, a proto není zkrmování starších rostlin hospodářským zvířatům nebezpečné (Špaldon et al., 1982).

Nyní se často setkáváme s tím, že se využívá biomasa z čiroků pro produkci biopaliv (bioethanol), aby se částečně snížila závislost zemí na dovozu ropy. Velmi se diskutuje využívání potravinářských plodin (řepka, kukuřice) pro výrobu biopaliv, proto by mohl čirok cukrový částečně nahradit tyto plodiny a tím by se částečně zabránilo diskuzím ze strany veřejnosti (Ratanavathi et al., 2004).

### **3.1.6 Složení rostliny**

Chemické složení rostliny závisí na druhu čiroku, odrůdě a směru pěstování. Zrno čiroku obsahuje vysoké procento škrobu, až 70 % (Špaldon et al., 1954). Skladba aminokyselin zrna čiroku je různý, může být velmi variabilní v závislosti na genotypu a pěstitelských podmínkách (Mosee et al., 1988).

Stuchlík (1951) popisuje, stéblo čiroku obsahuje přibližně 15 % vlákniny a zbytek je cukrová šťáva, dále organické a anorganické soli, bílkoviny, guma, vosk a škrob. Škrobu bývá okolo 1 % a množství roste se zralostí rostliny. Druh a množství cukru se v rostlině během vegetace značně mění, v období květu ho bývá okolo 11 %. Dokud jsou rostliny mladé, tak veškerý cukr je redukující (glukosa, fruktosa, invertní), sacharosa vzniká až po vytvoření květenství (laty). Nejvíce sacharosy se tvoří v době zrání. Delším uložením posečené rostliny nastává znovu inverse sacharosy, pravděpodobně působením bakteriemi mléčného kvašení, které se na poraněném místě stébla velmi rychle rozmnožují. Ponecháme-li odřezaná stébla na hromadě, tak se začnou silně zahřívat. Ve šťávě, která vytéká lze zjistit dlouhé tyčinky mléčných bakterií, a zároveň se zvyšuje její acidita. Dospělé rostliny obsahují přibližně 35 % veškerého cukru v podobě cukru invertního. Ve zralé rostlině je více glukosy než fruktosy, ale v období zrání je téměř stejný poměr těchto cukrů (László, 1947). V období plné zralosti je



většina cukrů ve šťávě jako sacharosa (60 – 80 %) z celkového množství cukrů, ostatních 20 – 40 % připadá na redukující cukry.

Obsah cukru není v celém stéble rovnoměrně rozložený. Nejvíce cukru obsahují střední internodia, směrem dolů a nahoru obsah cukru klesá. Obsah cukru ve stéblech kolísá v širších rádcích a závisí na odrůdě, půdních a klimatických podmínkách, agrotechnice a stupni zralosti rostliny. Myslelo se, že po dosažení úplné zralosti zrna, cukr ze stébla čiroku cukrového rychle ubývá a asi po 10 – 12 dnech zůstává už málo. Bylo však zjištěno, že u pozdních odrůd je dosahováno maximálního obsahu cukru ve stéblech a nejlepší jakosti šťávy asi 10 – 12 dní po úplném dozrání zrna (Špaldon et al., 1954).

Tabulka 5 Hromadění cukru ve stéblech čiroku cukrového během růstu (Špaldon et al., 1954).

Vývojová fáze	V % z celkové hmoty	
	glukosa	sacharosa
Metání	3,83	1,57
Mléčná zralost	3,8	7,23
Vosková zralost	2,5	10,53
Plná zralost	1,57	14,07

Tabulka 6 Rozbor rostliny a stébla čiroku cukrového (Stuchlík, 1951).

	Rostlina	Stéblo
	%	
Sušina	20 - 28	20 - 28
Sacharosa	5 - 18,5	7,2 - 29,8
Cukr invertní	1,6 - 5,6	2,4 - 10,0
Stravitelné bílkoviny	0,5 - 1,8	0,3 - 1,1
Škrobové jednotky	13,9 - 49,3	12,1 - 50,2

Tabulka 7 Rozbor čiroku cukrového (Stuchlík, 1951).

Hrubé živiny						Stravitelné živiny				číslo hodnoty %	stravitelné bílkoviny %
voda %	dusíkaté látky veškeré %	hrubý tuk %	bez dusíkaté látky výtažkové %	hrubá vláknina %	popeloviny %	stravitelné látky dusíkaté %	stravitelný tuk %	stravitelné dusíkaté látky výtažkové %	stravitelná vláknina %		
80,1	2,1	0,6	9,6	6,2	1,4	1,2	0,2	5,8	3,3	79	0,7

### 3.1.7 Hlavní zásady pěstování čiroku

#### 3.1.7.1 Nároky na stanoviště

Rostliny čiroku můžeme pěstovat na široké škále půd. Toleruje půdy, které mají pH 5,5 až 8,5 (Hayward, Bernstein, 1958). Jsou však velmi náročné na teplo, nejvíce náročné jsou čiroky zrnové, které se převážně pěstují v tropických nebo subtropických oblastech (Špaldon et al., 1954).

Čirok cukrový je plodina s vysokou snášenlivostí na sucho. Vyhovují mu půdy humózní s neutrální půdní reakcí, nevadí mu také zásaditá půdní reakce. Nesnáší půdy vlhké, šterkovité a písčité půdy (Jančovič et al., 2005).

Na dozrání potřebují čiroky 2500 až 3500 °C a délku vegetačního období bez mrazů od 120 – 180 dní. Čirok cukrový bez problémů fyziologicky dozrává v lokalitách, kde se pěstuje kukuřice na zrno s číslem ranosti FAO do 300. To v našich podmínkách odpovídá řepařské a kukuřičné oblasti (Rajki-Siklósi, 1993). Ostatní oblasti, které nejsou vhodné pro pěstování na zrno, by se měly orientovat na pěstování čiroku cukrového k výrobě siláže, nebo pěstování pro energetické účely (Sanderson et al., 1992).

Stuchlík (1951) podobně uvádí, že cukrový čirok není příliš náročný na půdu. K jeho pěstování se hodí půdy písčito-hlinité a hlinito-písčité, které vykazují neutrální půdní kyselost. Kyselou reakci půdy čirok nesnáší. Těžké a mokré půdy mohou ohrožovat rostliny čiroku vzrůstem plevelů, neboť zabraňují rychlému vyklíčení semen čiroku. K optimálnímu vývoji se hodí půdy sušší a prostupné. Nevhodné jsou půdy písčité, s malou zásobou živin, chudé na humus, šterkovité, rašeliny a jílovité. V suchých půdách trpí čirok nedostatkem vláhy, hlavně v prvních vývojových fázích, dokud nezakoření. Není citlivý na vysokou koncentraci solí v půdě jako jiné rostliny, proto ho lze pěstovat i na slaných půdách, kde se jiným rostlinám vůbec nedaří.

Stuchlík (1951) také uvádí, že čiroky jsou mnohem odolnější vůči suchu a horku než kukuřice. U nás jsou hlavně prozatím pěstovány jen v krajích s teplým létem, kde kukuřice není pěstována z důvodu sucha. Je také mnohem odolnější k zasolení půd než kukuřice (Esechie, 1994).

U vzrostlých porostů odumřou listy již při teplotě -2 až -3 °C, ale většinou nedochází k poškození vegetačního vrcholu. Tyto mrazy však ničí rostliny na podzim. K normálnímu růstu potřebuje čirok teplotu nad 20 °C. Při poklesu teploty pod 10 °C přestane růst a zežloutne, ale po zvýšení teploty rychle zazelená a pokračuje v růstu (Špaldon et al., 1982). Nepříznivé počasí, nízká teplota a velké množství srážek nepříznivě působí v nejranějším období vegetace, čím se může posunout období dozrávání. Mrazy určují konec vegetace. Při teplotě 3 – 4 °C nedozrálé rostliny zmrznou, listy odumírají. Vyzrálé laty a semeno tyto mrazy podstatněji nepoškodí. Semeno ve žluté zralosti, kdy má ještě velký přebytek vody, ztrácí klíčivost a nehodí se potom jako osivo. Pokud po prvních časných mrazech přijde pěkné počasí, dozrávání se urychlí, laty metlového čiroku se pěkně vybarví a jsou vhodné na technické zpracování. Pokud je čirok v mléčné zralosti, tak silnější mráz může znehodnotit i laty.

### 3.1.7.2 Zařazení v osevním postupu

Čirok je poměrně nenáročná plodina a může se tedy úspěšně pěstovat téměř po kterékoliv rostlině. Většinou se zařazuje do osevních postupů jako kukuřice, tzn., na dobře vyhnojené půdy, pokud možno i dobře odplevelené, abychom zamezili poškození porostů v době vzházení a počátečního růstu, kdy jejich růst je pomalejší než růst plevelů (Hermuth, 2012). Jako dobré předplodiny jsou rostliny pěstované pro krmné účely. Dobré jsou také okopaniny, protože nechávají půdu v dobrém stavu a nezaplevelenou. Čirok je díky svému počátečnímu pomalému růstu velmi citlivý na plevele. Dříve se však po okopaninách nevyužíval, protože se tato plodina brala stylem pěstování jako okopanina. Je dobré před zakládáním čiroku po okopaninách použít chlévský hnůj a zaorat ho na podzim. Z obilnin je vhodnější pěstovat hlavně po ozimech, protože jařiny zanechávají půdu většinou v horším stavu v porovnání s ozimí (Špaldon et al., 1954).

Čiroky jsou náročné na teplo a vyžadují pozdní setí. V Německu se proto stále více prosazují jako následná plodina po energetickém žitu na zeleno, ozimém ječmeni na GPS nebo po první (jarní) sklizni víceleté pícniny. Na podzim se potom (někdy i při nižším obsahu sušiny) sklízí přímo a jako zelená hmota nebo zasilážívané se využívají pro výrobu

bioplynu (Hermuth, 2012). Také ho lze zařadit i po ozimých směskách, což v dnešní době není moc časté kvůli malému zakládání těchto směsek pro krmné účely, neboť ubyly stavy hospodářských zvířat. U této varianty uvádějí někteří autoři, že jsou výnosy hmoty nižší, protože dochází k odčerpávání živin, které lze dodat minerálními hnojivy či statkovými hnojivy, ale především jde o odčerpání vody z půdy (Špaldon et al., 1982). V teplých oblastech mírného pásma se čiroky zařazují nejčastěji po hnojených okopaninách, lusko – obilných směskách, luskovinách nebo obilninách (Hermuth et al., 2012).

Čirok lze také poměrně dobře pěstovat na čerstvě zoraných loukách, musí být tedy dobře provedená orba a dobře připravené seťové lůžko. Může zde být problém s drátovci a plevely. Drátovci se hojně vyskytují na loukách a mohli by poškodit vzcházející rostliny, proto je vhodné insekticidní moření osiva, někteří pěstitelé doporučují aplikaci dusíkatého vápna, které drátovce zničí. Bohužel to spíše lze u menších pěstitelů, protože je dusíkaté vápno velice drahé (Špaldon et al., 1954). I když je čirok velmi snášenlivá rostlina, není vhodné ho sít na ten samý pozemek po sobě. Výjimkou by mohly být půdy s velikou zásobou živin. Čiroky lze všeobecně považovat jako špatné předplodiny, protože odčerpávají z půdy hodně živin a půdu silně vysušují. Zbytky stébel způsobují při zpracování půdy pro následující plodinu těžkosti a rozložené zbytky kořenů a částí stébel působí jedovatě na půdní mikroorganismy a na kořeny následující plodiny. Podstata tohoto působení není zatím přesně probádána (Stuchlík, 1951). Zatímco Hermuth et al. (2012) uvádí, při intenzivnějším hnojení a používání herbicidů může následovat čirok i více let po sobě. Po čiroku pěstovaném pro energetické využití a sklizeném do konce zimy lze pěstovat pouze jařiny. Po čiroku pěstovaném na píce nebo na výrobu etanolu se pěstují především obilniny.

### 3.1.7.3 Příprava půdy

Příprava půdy pro čiroky je do značné míry závislá na půdních a klimatických podmínkách dané oblasti. Pěstování v aridních a suchých oblastech je nutné přípravu půdy provádět systémem „Dry farming systém“. Ten spočívá v orbě do hloubky 18 – 20 cm, kdy je posléze pozemek uvláčen, aby se vypařovací plocha povrchu půdy zmenšila na minimum. Povrch půdy je nutné do výsevu a později až do doby plného vzejití porostu udržovat stále bez půdního škraloupu. Rozrušování půdního škraloupu je důležité k porušení kapilárity v orniční vrstvě půdy, aby výpar vody z půdy byl co nejmenší (Hodoval et al., 2012). Stuchlík (1951) uvádí, v našich podmínkách je vhodné půdu připravit jako pro cukrovku. Nejlépe vyhovují půdy zpracované podzimní hlubokou orbou. Musíme dbát na to, že je semeno čiroku

drobné a musíme dávat důraz na kvalitní předset'ovou přípravu půdy. Čirok má některé přednosti v porovnání s kukuřicí:

- a) Nižší kilogramový výsev (je oproti kukuřici drobnozrnný).
- b) Hodí se do oblastí, kde sucho ohrožuje sklizeň kukuřice.
- c) Je schopný poskytnout vyšší výnosy sušiny.

Stuchlík (1951) píše, čirok cukrový využívá vláhy do okruhu až 2 metrů a jeho kořeny mohou pronikat do hloubky až 4 metrů. Čirok odčerpává z půdy mnoho živin a při vysokých výnosech i při typu C4 může vysušovat půdu (Petříková et al., 2006).

#### 3.1.7.4 Založení porostu

Optimální termín výsevu čiroku je tehdy, když je půda prohřátá v hloubce 10 cm na 10 – 12 °C. Jančovič et al. (2005) uvádí jako nejpozdější možný termín setí do 10. července. Musíme dávat pozor na časné výsevy, protože u vzešlých rostlin stačí mrazíky 1 – 2 °C a dokážou rostliny spálit. Rostliny, které vyklíčily a ještě neprorazily povrch půdy, nejsou těmito mrazy ohroženy, že by je spálil (Špaldon et al., 1954). Pokud je teplota půdy pod 10 °C, tak hrozí k velmi pomalému vzcházení, že semeno může v půdě shnít, pokud vzejde, jsou rostliny často ohroženy jarními mrazíky. Pokud je teplota půdy 18 – 20 °C, čirok při dostatku vláhy vzejde za 4 – 5 dní. V nepříznivém počasí může vzcházet 2 – 3 týdny, někdy i déle. V našich podmínkách je vhodný začátek května. Pokud je nejisté počasí, je dobré vysévat ve dvou termínech, aby se částečně zmenšilo riziko popálením mrazem (Špaldon et al., 1982).

Nejčastěji se využívá meziřádkové vzdálenosti 30 – 80 cm a vzdálenost rostlin od sebe by měla být 25 – 30 cm. Některé vícesečné hybridy čiroku se mohou sít i do užších řádků (Hermuth et al., 2012). Čiroky pro energetické účely se sejí do řádků širokých 20 – 30 cm s výsevem osiva od 30 do cca 50 kg.ha<sup>-1</sup> (Petříková, 2004). Jančovič et al. (2005) rozděluje vhodnou meziřádkovou vzdálenost podle využití porostu, pokud má být použit do siláže, tak volíme šířku řádků 40 – 60 cm s výsevkem 10 – 20 kg.ha<sup>-1</sup>, porost na zelené krmení zakládáme do řádků širokých 20 – 30 cm s výsevkem 20 – 30 kg.ha<sup>-1</sup>. Stuchlík (1951) uvádí, seje se dvojným způsobem, a to buď v řádcích, nebo méně často na široko čili hustě „na zeleno“. Pokud sejeme do řádků, tak získáváme jednu úrodu otužilých a silných rostlin s vysokým výnosem zelené hmoty hodnotného složení, která se hodí k dalšímu průmyslovému zpracování. Výsevné množství čiroků se odvíjí od účelu pěstování a pohybuje se od 15 do 30 kg.ha<sup>-1</sup> (Hermuth et al., 2012).

Tabulka 8 Výsev osiva čiroků na 1 hektar dle účelu pěstování (Podrábský, 2011)

Druh čiroku (dle použití)	Řádky (cm)	Výsevek (kg.ha <sup>-1</sup> )	Využití
Čirok zrnový	30 - 45 (75)	9 až 13	Jednosečné (přímá sklizeň), zrno, siláž / nižší výnos biomasy.
Čirok cukrový	40 - 75	6 až 10	Jednosečné, siláž, vysoký výnos biomasy, nízká sušina a podíl zrna.
Čirok kombinovaný	30 - 75	9 až 13	Jednosečné, siláž s vysokým podílem zrna.
Súdánská tráva	nahusto	20 až 30	Pastva, senáž, seno/ i jako následná plodina.
Čirok x Súdánská tráva	0 - 75	15 až 30	Vícesečné / (jednosečné), pastva, senáž, seno, siláž / i jako následná plodina.

Hloubka výsevu by měla být 1,5 – 3 cm. Hlubší uložení semene do chladnější půdy by mohlo způsobit pomalejší vyklíčení a tím by semeno mohlo být vystaveno riziku, že zplsnívá a shnije. Dobré je setí před deštěm (Stuchlík, 1951). Rozdílný názor je ten, že výsev by měl být do hloubky 3 – 5 cm (Petříková et al., 2006; Hermuth et al., 2012). Doporučuje se po výsevu pozemek uválet nejlépe cambridžskými válci a to především tehdy, kdy je horní vrstva ornice přerušena. Válením se utlačí půda v hloubce zasetých semen a tím se zabezpečí přívod vody k semenům z hlubších vrstev půdy. Válení po setí se v případě použití vhodného secího stroje s přítlačnými kotouči neprovádí (Petříková et al., 2006; Hermuth et al., 2012). Důležitým zásahem po setí je rozrušovat půdní škraloup, který vzniká převážně po deštích, ale to platí pouze pro půdy, které jsou náchylné k tvorbě škraloupu. Pozemek by se měl udržovat bez škraloupu až do úplného zapojení porostu, hlavně kvůli omezení výparu vody z půdy (Hermuth et al., 2012).

Osivo můžeme podobně jako jiné obilniny (Špaldon et al., 1982) a mělo by být tříděné. Moření se provádí především proti sněti čirokové (*Ustilago sorghi*) (Hermuth et al., 2012). Dobré osivo má mít 98 % čistotu a 95 % klíčivost. Často bývá klíčivost jen asi 75 – 80 %. Nečistoty a nedozrálá semena je třeba odstranit, aby se zabezpečilo rovnoměrné setí. Hektarový výsevek závisí na velikosti semen, meziřádkové vzdálenosti, čistotě, klíčivosti a směru pěstování. Pokud má osivo vysokou klíčivost, tak ho můžeme vysévat řidčeji. Výhodou je, že můžeme využít sečky, které využíváme pro výsev obilnin, řepky atd., nepotřebujeme tedy sečku pro přesné setí, jako je tomu u kukuřice či cukrovky. To je ulehčení pro podniky, protože nemusí kupovat speciální sečku pro přesné setí (Špaldon et al., 1954). Výsev lze také provádět speciálními secími stroji na přesný výsev kukuřice nebo čiroku (Hermuth et al., 2012).

Semeno čiroku je citlivé na vyšší vlhkost, protože se může lehce zapařit, zplesnivět a může úplně ztratit klíčivost. Klíčivost může být také poškozena mrazy v období, kdy semeno není zralé nebo je vlhké. Vlhkost uskladněného osiva by neměla přesahovat 14 %. Pokud má semeno vyšší vlhkost, musí se dosoušet. Pokud se dosušuje uměle, musíme být opatrní a musíme teplotu zvyšovat postupně, teplota by neměla přesáhnout 50 – 55 °C, dbáme také na řádný odvod vodních par. Vyšší teplotou při nízké vlhkosti u semena nedochází ke snížení klíčivosti, dokonce dochází ke zvýšení energie klíčivosti, ale nesmí teplota přesáhnout v tomto případě 65 – 70 °C. Před setím bychom měli přezkoušet klíčivost ke správnému určení výsevku. Osivo před setím můžeme jako obilniny (Špaldon et al., 1954).

### 3.1.7.1 Výživa a hnojení

Pro úspěšný vývoj čirok potřebuje značné množství živin. Množství živin záleží na množství hmoty a pěstovaném směru (Špaldon et al., 1954). Hnojení je podobné jako u kukuřice. O potřebě hnojení rozhoduje aktuální obsah živin v půdě (Hermuth et al., 2012). Průběh příjmu živin je velice podobný jako u ječmene, proto draslík a dusík jsou potřebné již před hlavním vzrůstem. Fosfor a vápník využije až v pozdní vegetační periodě. Zejména tam, kde máme urychlit dozrávání semena anebo v nepříznivých vegetačních poměrech, je nutno hnojit mimo vápnem a draslíkem i fosforem v dostatečném poměru k přidávanému dusíku (Tieman, Kaempffer, 1941).

Tabulka 9 Hnojení čiroku, doporučené dávky jednotlivých živin (Hermuth et al., 2012).

<b>Živina</b>	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>
Dávka (kg.ha <sup>-1</sup> )	140 - 160	60 - 80	120 - 150	30 - 50	15 - 30

V počátečních fázích růstu je příjem živin velmi pomalý. Ve fázi 3 - 4 listů začíná intenzivně přijímat živiny, což se navenek projevuje velmi silným růstem. Od této doby až po metání je spotřeba dusíku a draslíku největší. Ke konci metání se spotřeba dusíku a draslíku nezvyšuje. Od konce kvetení až po dozrávání přijímá čirok dusík a draslík hodně intenzivně, takže za tento čas, co představuje cca 45 % vegetačního období, přijme čirok ještě 36,8 % dusíku. Fosfor přijímá v počátečních fázích, asi první čtyři týdny pomalu a v malém množství. Spotřeba fosforu se stupňuje až do fáze kvetení, kdy je příjem největší (Špaldon et al., 1954).

Přestože čirok nepoléhá, můžeme ho hnojit většími dávkami dusíku. Na počátku růstu potřebuje dusík v lehce přijatelné formě. Silnějším hnojením dusíkem zvyšujeme úrodu zelené hmoty a obsah bílkovin, což má velký význam při pěstování čiroku na krmné účely a energetické účely. Přehnojení dusíkem prodlužuje vegetační období, u cukrového čiroku snižuje procento cukru a u metlového čiroku zhoršuje jakost lat (Špaldon et al., 1982). Dusík je vhodný aplikovat až před setím a během vegetace v dávce 150 – 180 kg.ha<sup>-1</sup> (Jančovič et al., 2005). Dříve se doporučovalo během vegetace aplikovat ledek vápenatý nebo ledek čilský, tato hnojiva se v dnešní době moc nevyužívají kvůli vysoké ceně (Stuchlík, 1951). Používají se podobná hnojení a hnojiva jako u kukuřice. Dávky dusíku by se měly podle výnosu a organického hnojení pohybovat mezi 80 až 200 kg N na hektar. Větší část dusíku se aplikuje před setím, ale vysoký příjem je až v období intenzivního růstu, tedy asi za 8 – 10 týdnů. Jsou snahy o přesun hnojení do vegetačního období kvůli možným ztrátám dusíku, ale běžné přihnojení dusíkatými hnojivy většinou vede k poškození porostů (popálení paždí listů). Jsou proto hledány způsoby aplikace hnojiv za vegetace, které by nepoškozovaly porost – hnojení pod listy – na povrch půdy. Hnojení provádíme ve dvou termínech. Základní hnojení před setím v dávce do 120 kg N a na lehčích půdách asi do 70 kg na hektar. K základnímu hnojení před setím jsou vhodná hnojiva, jako je močovina, síran amonný, DAM a LAV. Přihnojování během vegetace se má provádět, když porost dosáhl výšky 20 – 40 cm. Přihnojené porosty v pozdější fázi mají většinou nižší obsah sušiny. Hnojení klasickými rozmetadly přináší značné nebezpečí poškození porostů – granule hnojiv po zapadnutí do paždí listů poškozují porosty. Menší poškození lze předpokládat po aplikaci LAV než LV a při výšce porostu do 20 cm. Dávka by se měla pohybovat mezi 20 – 40 kg N na hektar. U moderních odstředivých rozmetadel s možností připojení hadic (semenovodů) lze hnojivo aplikovat do mezírádků a téměř vyloučit poškození rostlin. Proto může být aplikovaná dávka dusíku podstatně vyšší (60 – 70 kg N) a výška porostů až 40 cm (Vaněk et al., 2007). Také se využívalo aplikace zředěné hnojůvky před setím čiroku. Tímto hnojením můžeme zvýšit výnos bílkovin z 1 ha až o 50 %, protože získáme větší výnos zelené rostlinné hmoty s vyšším obsahem bílkovin (Stuchlík, 1951).

Draslík podporuje odolnost proti chladu a mrazu, zvyšuje tvorbu sušiny a podporuje tvorbu uhlohydrátů. Draslík zvyšuje čistotu šťáv u cukrové třtiny, to se také potvrdilo i u čiroku cukrového, neboť se zvyšujícími dávkami se zvyšuje podíl sacharosy, klesá podíl redukujících cukrů a snižuje se celkově obsah bílkovin a dusíkatých látek. Rostliny při dostatku draslíku dobře hospodaří s vodou (Hermuth et al., 2012). Hnojením minerálními hnojivy můžeme částečně ovlivnit vývoj a urychlit dozrávání. Pomocí draslíku můžeme u



metlového čiroku zvýšit jakost laty i semen. Také správný poměr fosforu a dusíku urychluje dozrávání a zvyšuje úrodu semen (Špaldon et al., 1954). Draslík a fosfor aplikujeme při podzimní přípravě půdy v dávkách ( $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}$  a  $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ K}$ ), musíme také vycházet ze zásobenosti půdy těmito prvky (Jančovič et al., 2005).

Vhodné je také dodání živin ve formě organického hnojení (zelené hnojení nebo chlévský hnůj či kejda). Doporučená dávka chlévského hnoje je  $30$  až  $50 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  (Petříková et al., 2006). Dávka hnoje je velmi rozdílná, při pěstování čiroku metlového se aplikují nižší dávky. Na půdách s dobrým zásobením dusíku stačí dávky  $20 - 25 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , na půdách chudších může být dávka  $35 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Tabulka 10 Spotřeba živin v různých růstových fázích (Špaldon et al., 1963).

Po dnech	Stádium	kg N/ha	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	kg K <sub>2</sub> O/ha
25	první 3 - 4 lístky	5,6	1,7	4,4
39	před metáním	52,3	10,7	48,5
59	počátek metání	97,2	27	103,4
68	konec metání	92,5	28,3	95,3
82	začátek kvetení	99,1	41,4	124,5
109	kvetení	120,2	45,1	143,4
149	konec kvetení	141,2	56,6	149,5

### 3.1.7.2 Regulace plevelů

První čtyři až pět týdnů po vzejití čirok roste velmi pomalu. V tomto období mají plevely rychlejší růst, které mohou rostliny čiroku dusit. Proto musíme v tomto období udržovat porost čistý. Dříve se pro tuto regulaci používaly mechanické prostředky. Doporučovalo se hned po vzejití porost povláčet lehkými branami. Tím došlo k provzdušnění povrchu, porušení půdního škrálopu a také dochází k regulaci vzházejících plevelů. To se však dalo pouze za vhodného počasí, půdní vlhkosti a porost musel být dostatečně hustý, protože došlo i k poškození některých rostlin. Pokud nebyly splněny tyto podmínky, tak vláčení mohlo být spíše negativní účinek (Špaldon et al., 1954). Prokypřený povrch půdy měl také dobrý vliv na ochranu proti pozdním jarním mrazům, protože půda s kyprým povrchem pomaleji vyzařuje teplo a je tu menší možnost přizemního mrazu, oproti na půdě ulehlé (Hermuth et al., 2012). Nejlepší je čirok vláčet až v období, kdy je už dobře zakořeněný, protože jinak více trpí na poškození než kukuřice. Vlácí se, když porost má výšku  $10 - 12 \text{ cm}$ , v pozdějším období by došlo k nevratnému poškození rostlin. Podle stavu porostu a zaplevelení pozemku asi za  $10$  dní od vláčení můžeme začít s plečkováním meziřadí.

Doporučovalo se využívat širších meziřádků, aby se dalo lépe práci zmechanizovat (Špaldon et al., 1982). V období kdy má čirok 3 – 4 lístky, musí se vyjednotit na příslušnou vzdálenost, ta je závislá na druhu, sortě, klimatických a půdních podmínkách. Zrnový čirok se jednotí na vzdálenost 20 – 30 cm, cukrový na vzdálenost asi 20 cm a metlový 15 – 20 cm. Dnes se proto vysévá menší množství osiva na přesnější vzdálenost a proto se nemusí porost dojednocovat. U lehčích půd a méně zásobených živinami je lepší, aby rostliny byly dál od sebe a naopak u lépe zásobených a těžších půd je lepší kratší vzdálenost rostlin od sebe. Vzdáleností rostlin od sebe lze do určité míry ovlivnit délku vegetačního období. U hustého porostu se může vegetační období zkrátit až o 2 týdny (Špaldon et al., 1954).

Nyní se již mechanizované regulace plevelů téměř nepoužívá. Díky vývoji chemických prostředků na ochranu rostlin si v dnešní době můžeme vybrat herbicidy, které lze aplikovat preemergentně (před vzejitím) a postemergentně (po vzejití). Postřiky se používají podobné jako v kukuřici. V našich podmínkách se využívá nejčastěji preemergentních půdních herbicidů. Důvod je spíše historický než pěstitelsky zdůvodněný. Především je to tím, že až do osmdesátých let minulého století nebyly k dispozici postemergentní herbicidy s dostatečným spektrem účinnosti, s výjimkou kontaktních a tzv. růstových herbicidů (MCPA a 2,4 D), které ovšem za nepříznivých okolností poměrně často způsobovaly fytotoxicitu. Výhodou preemergentního aplikačního termínu je především určitý pocit jistoty od počátku vegetace, který si bylo možné dopřávat zvláště v době, kdy se cena nejběžnějších atrazinových herbicidů pohybovala na úrovni 200 Kč/ha a víceméně se počítalo s dalším, následným ošetřením. Rostoucí ceny preemergentních herbicidů již dnes tento „luxus“ opakování zásahu neumožňují a pokud je preemergentní aplikace použita, měla by poskytnout komplexní ochranu (s výjimkou vytrvalých plevelů). Nevýhodou půdních herbicidů je velká závislost účinnosti na vlastnostech půdního prostředí, které ovlivňují sorpci herbicidu, jeho pohyblivost a rychlost degradace. V posledních letech bylo na základě mnoha studií prokázáno, že není nezbytné snažit se za každou cenu udržet pozemek bezplevelný hned od počátku vegetace. Do fáze 3 – 4 listů čiroku je konkurenční vliv plevelů slabý až zanedbatelný. Později se s narůstající pokryvností plevelů jejich konkurenční schopnost zvyšuje a musí být odstraněna (oslabena) dříve než by došlo k negativnímu ovlivnění růstu čiroku. Kritickým obdobím je, kdy plodina trpí konkurencí plevelů, to je fáze 4 – 6 listů. Toto období nastává asi do 6 týdnů po výsevu, při pokryvnosti plevelů vyšší než 50 – 60 %. Pokud se podaří v tomto kritickém období konkurenční vliv plevelů potlačit, pozdější zaplevelení nastupující ve fázi přibližně osmi a více listů čiroku, nemůže výrazněji ovlivnit výnos hmoty. Musíme počítat s tím, že ponechané plevele mohou navýšit zásobu rozmnožovacích orgánů

v půdě či působit sklizňové komplikace (Soukup et al., 2006). Používala se preemergentní aplikace atrazinu na dvouděložné plevele, ten však musel být v přesných a v doporučených dávkách, neboť čirok není atrazinu tak odolný jako kukuřice. V České republice již není registrován žádný přípravek na ochranu rostlin s obsahem atrazinu (Petříková et al., 2006). Před setím je výhodné vyčistit pole neselektivním (totálním) herbicidem. Postemergentní aplikace MCPA by měla být při výšce rostlin cca 15 cm. V případě zaplevelení Ježatkou kuří nohou (*Echinochloa crus – galli*), zvláště u čiroků pěstovaného na přímou sklizeň zrna nebo siláže, se v zahraničí nejvíce osvědčila preemergentní aplikace přípravku Gardoprim Plus Gold v dávce do 4 l.ha<sup>-1</sup>. V ČR je tento přípravek však registrován pouze do kukuřice (Hermuth et al., 2012).

### 3.1.7.3 Choroby a škůdci

Nejčastější chorobou na čiroku bývají sněti, hlavně sněť semenná a sněť květní. Vhodný boj proti snětím je odříznutí napadených rostlin, ty bychom měli zničit a zabráníme šíření spor. Proti semenné a květní sněti je dobré mořit osivo jako je tomu u obilnin. Moření osiva má samozřejmě účinky i na jiné choroby (Špaldon et al., 1954). Z ostatních houbových chorob se nejčastěji vyskytují *Helminthosporium turcicum* Pass., *Ascochyta sordina* Sacc., *Fusicladium sorghi* Pass (Petříková et al., 2006). V oblastech tradičního pěstování patří k hlavním houbovým patogenům čiroku plíseň čiroková, která je rozšířena zvláště v subtropických oblastech (Indie, jižní Asie) a řadí se mezi oomycety. Na listech vytváří bílé až žluté pruhy, které postupně hnědnou s následným odumíráním pletiva. Na listech se též někdy vyskytuje rez čiroková (*Puccinia purpurea* Cooke) (Hermuth et al., 2012).

Z živočišných škůdců napadá čirok hmyz i vyšší živočichové. Na mladých porostech škodí drátovci, larvy chrousta obecného a housenky osenice polní. Larvy poškozují především kořenový systém. Později v období vegetace se mohou vyskytovat listové mšice (Petříková et al., 2006). Velmi nebezpečným škůdcem zvláště v USA je *Contarinia (Diplois) sorghicola* Coq. (bejlmorka), která je nebezpečná hlavně svým rychlým rozmnožováním, její výskyt je zpravidla kalamitní a může porosty i zničit. Larvy i hmyz způsobují požerky na listech a stéblech rostlin. Méně významným škůdcem čiroků je mravenec *Linepithema humilis* Mayr. (Hermuth et al., 2012).

Čirok není hostitelskou rostlinou běžných škůdců kukuřice, například bázlivce kukuřičného. Je proto vhodnou plodinou v oblastech s jeho vysokou škodlivostí a v podnicích s velkým podílem kukuřice v osevním postupu (Hodoval, Pulkrábek, 2012).

V podmínkách České republiky na lokalitě Praha Ruzyň byl identifikován škůdce zavíječ kukuřičný. Na listech se vyskytovala houba hladkoplodka obilná (*Colletotrichum graminicola* D. J. Pollis), která tvořila na listech malé oválné až nepravidelné skvrny, jejichž střední část byla hnědá. Byly identifikovány i listové skvrny způsobené v našich podmínkách rodem *Alternaria*. Skvrnitost vyvolaná houbou by mohla redukovat i výnos zrna a vytvářet infekční rezervoár pro další šíření houby. Vyvolává tvorbu nekrotických skvrn a zmenšuje asimilační plochu listů. Vytváří též mykotoxiny (alternariová kyselina, alternariol, alternariol monomethyl ether aj.), znehodnocující sklizeň zrna po stránce kvality produkce (Hermuth et al., 2012).

#### 3.1.7.4 Sklizeň

Jakým způsobem budeme provádět sklizeň, závisí na užitkovém směru pěstování (Petříková et al., 2006).

Pokud máme porost určený na zrna, sklízíme sklízecí mlátičkou upravenou na vysoký řez (Petříková et al., 2006; Hermuth et al., 2012). Sklízíme v době, když jsou zrna dobře vybarvená a lesklá. Výdrolu se nemusíme obvykle obávat, proto můžeme sklízet až v plné zralosti (Hermuth et al., 2012). Po sklizni, je nutné zrna dočistit a popřípadě dosušit na vlhkost 15 % (Petříková et al., 2004). Potenciál výnosu zrnového čiroku se pohybuje v rozmezí 5 – 6 t.ha<sup>-1</sup>. V nejteplejších oblastech je srovnatelný s výnosem kukuřice na zrna (Hermuth et al., 2012).

Porost na zelenou píce sklízíme sklízecími řezačkami. Optimální termín sklizně je před metáním, porosty určené pro silážování sklízíme na začátku metání (později rychle dřevnatí) (Petříková et al., 2006). Čirok cukrový se siláží napřímo při optimálním obsahu sušiny. Súdánská tráva a její kříženci se hodí pro dvoufázovou sklizeň v době, kdy mají vysokou stravitelnost, nebo pro přímou sklizeň tehdy, když je obsah sušiny optimální. Na podzim se potom sklízí napřímo a jako zelená hmota nebo zasilážované se využívají pro výrobu bioplynu. Vícesečné čiroky jsou velmi hodnotnou píce pro přežvýkavce (Hermuth et al., 2012). Pokud chceme využít čirok pro přímé spalování, tak sklízíme koncem zimy (únor), kdy se vlivem mrazu rostliny částečně vysuší. Sklizeň také provádíme řezačkou. Pokud bychom sklízeli porost na podzim, tak rostliny ještě obsahují vysoký podíl vody, to je pro přímé spalování nevhodné. Měřeními bylo zjištěno, že rostliny koncem listopadu obsahují více jak 50 % vody. Musíme počítat se ztrátami rostlinné hmoty přes zimní období (Petříková et al., 2006).

Jančovič et al. (2005) uvádí, že čirok cukrový je schopný dosáhnout v období metání až začátkem kvetení úrody 30 – 40 t.ha<sup>-1</sup> s dobrou výživnou hodnotou. Pokud ho pěstujeme po ozimých předplodinách, poskytuje nižší úrodu, okolo 18 – 25 t.ha<sup>-1</sup>. Pokud sklídíme porost před metáním, tak rostlina obroste a může vyprodukovat až 10 – 15 t zelené hmoty. Je dobré rostliny posekat a nechat je ležet na řádku 3 – 4 hodiny, aby se uvolnil kyanovodík, který se ztrácí z rostliny vadnutím. Hodoval et al. (2012) uvádí, průměrné výnosy z hektaru mohou být od 20 do 60 t.ha<sup>-1</sup>, výnos je velmi ovlivněn vegetačními podmínkami (klimatické poměry, intenzita hnojení, stav a úrodnost půdy), technologií pěstování a odrůdou rostliny. Sanderson et al. (1992) píše, že nejsou výjimky, kdy pěstitelé měli výnos hmoty i přes 100 t.ha<sup>-1</sup>.

### **3.1.8 Využití pro výrobu bioplynu a jeho přednosti v porovnání s kukuřicí**

Pro výrobu bioplynu v Německu a Rakousku je nejpoužívanějším substrátem kukuřičná siláž. S ohledem na potřebu zvýšení biodiverzity pěstovaných zemědělských plodin a zamezení negativních vlivů této plodiny na životní prostředí, zejména při opakovaném pěstování na stejném místě, jsou zemědělským výzkumem a následně praxí vyhledávány vhodné alternativy. Jako možnou a vhodnou alternativou pro výrobu bioplynu se jeví čirok. Tato plodina je schopná vytvořit vysoký výnos nadzemní biomasy stejně jako kukuřice, je vhodný pro silážování a následnou produkci bioplynu. Čirok má také některé přednosti oproti kukuřici. Petříková et al. (2004) uvádí, výhodou je především větší odolnost suchu a lepší hospodaření s vodou. Čirok najde uplatnění na lehčích půdách a suchých oblastech (Bolsen et al., 2003).

Kukuřice je používána z několika důvodů (Weiland, 2001) :

- má vysoký výnosový potenciál 15 – 20 t suché hmoty z ha,
- má vysoký výtěžek bioplynu z 1 kg sušiny/ 350 l methanu z 1 kg sušiny/,
- má vysoký výtěžek bioplynu z ha 5250 – 7000 m<sup>3</sup>,
- vysoká rozložitelnost/ degrabilita/,
- jednoduchá výroba,
- vynikající silážovatelnost,
- jednoduché uskladnění,
- příznivé náklady.

Tabulka 11 Průměrné hodnoty složení biomasy, výtěžků bioplynu a hektarových výnosů sušiny biomasy a bioplynu čiroku a kukuřice (Hermuth et al., 2012).

Parametr	Čirok	Kukuřice
Popel, % suš.	6 - 12	4 - 8
Hrubý protein, % suš.	5 - 9	6 - 9
Cukry celk., %	8 - 18	8 - 18
Hrubý tuk, % suš.	1 - 3	2 - 4
Hrubá vláknina, % suš.	32 - 44	20 - 28
Neutrálně detergenční vláknina (NDF), % suš.	48 - 62	32 - 44
Hemicelulóza, % suš.	12 - 18	12 - 16
Lignin, % suš.	3 - 6	2 - 5
Ztráty sušiny při silážování, %	2 - 8	2 - 6
Výtěžnost bioplynu, Nm <sup>3</sup> .t <sup>-1</sup> suš.	420 - 620	400 - 710
Koncentrace metanu, %	52 - 55	52 - 55
Výtěžnost methanu, Nm <sup>3</sup> .t <sup>-1</sup> suš.	220 - 340	210 - 390
Výtěžnost methanu, Nm <sup>3</sup> .t <sup>-1</sup> org.suš.	240 - 380	230 - 440
Průměrné výnosy sušina biomasy, t.ha <sup>-1</sup>	9 - 22	8 - 18
Výnos methanu, Nm <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup>	2000 - 7500	1700 - 7000

Čirok může být tedy vhodnou alternativou za kukuřici, protože je schopná vyprodukovat z hektaru stejně a dokonce i více methanu oproti kukuřici. Čirok je schopný vytvořit i značné množství biomasy v horších půdních podmínkách. Kukuřice bývá hodně často navštěvována černou zvěří, která dokáže v porostech udělat vysoké škody, u čiroku škody černou zvěří nejsou téměř žádné (Hermuth et al., 2012). Čirok vyprodukuje ze stejného množství hmoty o 15 – 20 % méně methanu oproti kukuřici (Bonardi et al., 2007), ale čirok cukrový (*Sorghum saccharatum*) dává více methanu než *Miscanthus* (Klimiuk et al., 2010). Bez ohledu na nižší výtěžnost bioplynu, ve srovnání s kukuřicí, lze z 1 ha čiroku získat stejné množství nebo i více bioplynu, zejména methanu jako hlavní energetické složky, to je především vyššími průměrnými výnosy sušiny biomasy (Hermuth et al., 2012).

Čirok může být nákladově levnější na výrobu, protože kukuřice je náročnější na půdu, hnojení a pesticidy, jde hlavně o insekticidy. V kukuřici je nejzávažnějším hmyzím škůdcem zavíječ kukuřičný (*Ostrinia nubilalis*). Samičky kladou vajíčka od června na spodní stranu listů kukuřice. Housenky vyžirají stébla, prožirají se do palic. Mechanicky poškozené rostliny se lámou. Výrazně se zvyšuje výskyt houbových chorob. V posledních letech se začíná vyskytovat v teplejších oblastech ČR bázlivec kukuřičný (*Diabrotica virgifera*). Brouci

bázelivce poškozují žírem celé rostliny, ale velké škody způsobují žírem na palici, kde poškozují jednotlivá se vyvíjející zrna. Takto poškozené rostliny bývají častěji napadány houbami rodu *Fusarium*, které vytvářejí mykotoxiny (Kazda et al., 2010). Případné toxiny by mohly inhibovat fermentační proces v bioplynové stanici. Měli bychom zajistit dostatečný vývin palic a zrn (jsou důležité pro celkový výnos bioplynu), proto musíme eliminovat případné poškození škůdci a chorobami (Zimolka et al., 2008).

Čiroky jsou však náročnější na teplo a vyžadují pozdní setí. Proto může mít čirok uplatnění jako následující plodina po energetickém žitu na zeleno, ozimém ječmeni na GPS nebo po první (jarní) sklizni víceleté pícniny, tento trend se velmi prosazuje v Německu. Na podzim se porost (i když má nižší sušinu) sklízí přímo jako zelená hmota nebo se silážuje a využívá se pro výrobu bioplynu (Hermuth et al., 2012).

V USA se uvádí u čiroků erozní koeficient o třetinu až polovinu nižší než u kukuřice, tím by se zmírnil dopad především vodní eroze na půdu (Hermuth et al., 2012).

Průběh silážování a fermentace u kukuřice a čiroků je odlišný – proces má delší náběh a je pomalejší. Důvodem je vyšší obsah polyfenolických látek u čiroků (zejména taninu), což má za následek inhibici činnosti mikroorganismů a zpomalení fermentačních procesů. Jelikož anaerobní fermentace obvykle docela účinně odstraňuje polyfenolické látky přirozeného původu, tak po ukončení biozplynování je docílen jejich rozklad, musíme však methanogenní mikroorganismy adaptovat na siláž z čiroků. To jde docílit tím, že budeme postupně přidávat siláž z čiroků ke kukuřičné nebo musíme počítat s iniciační podporou adaptačních procesů přidáním kvalitnějších surovin při náběhu zpracování siláží čiroku (přidáním kukuřičného jádra, CCM nebo GPS obilovin). Po nastartování normálního průběhu bioplynové fermentace další dávky siláže čiroků nevyžadují podporu. Také je toto možné ovlivnit vhodným výběrem odrůdy a hybridu čiroku s nižším obsahem inhibičních látek (Hermuth et al., 2012).

Při pěstování kukuřice k energetickým účelům není cílem dosáhnout co nejvyšší podíl zrna v biomase. Musíme dodržet u kukuřice i čiroku optimální obsah sušiny v biomase 28 – 32 %, to určuje dobu sklizně. Rostliny čiroku sklízíme sklízecími řezačkami, vybavené kukuřičným adaptérem. Optimální délka řezanky pro kvalitní siláž je 8 – 10 mm. Kvalitní udusání a zakrytí siláže je základní podmínkou získání kvalitního materiálu pro výrobu bioplynu (Havlíčková et al., 2008). Hybridy určené k výrobě bioplynu by měly obsahovat méně škrobu než hybridy určené k výživě zvířat. Škrob má význam při výživě zvířat, ale pro fermentační zařízení není velký obsah škrobu přínosem. Určující pro kvalitu, a tím výtěžnost methanu je vláknina. Ta se nachází ve stéble a částečně ve vřetenu. Její součástí je celulóza,

hemicelulóza a lignin. Při dozrávání se zvyšuje podíl obtížně fermentovaného ligninu a klesá degradovatelnost vlákniny, také se zvyšuje podíl palice a obsahu škrobu v zrně (Kára et al., 2007).

Většina substrátů, které jsou k dispozici na farmách, jsou snadno rozložitelné, proto lze říci, že produkce bioplynu končí v zásadě do 30 dnů. Ve skutečnosti produkce bioplynu většinou pomalu pokračuje dál, ale z praktického využití již nemá tato malá část plynu ekonomické využití. Lze tedy říci, že většina materiálů bude mít dobu zdržení 25 – 30 dní a na tuto dobu se navrhuje velikost fermentoru (podle množství a objemu materiálu pro denní náplň). Odbouratelnost organické hmoty těchto substrátů se pohybuje od 50 do 80 %. A proto obvykle stačí jeden reaktor s dobou zdržení do 30 dní (Kára et al., 2007).

Jiná situace je u silážní kukuřice a čiroku, kde se doba zdržení pro odbourání organické sušiny pohybuje od 50 do 140 dnů. Proto pro zpracování siláže, případně podobných materiálů je potřeba spíše počítat se dvěma reaktory za sebou s dobou zdržení 30 – 40 dnů (celkem 60 až 80 dnů). Podle kvality a doby sklizně siláže (sušina 28 až 35 %) se tak dostáváme na rozložitelnost organického podílu na 60 – 80 %. U organické hmoty kukuřice totiž probíhá rozkladná fáze poněkud jinak. Vyšší podíl hůře rozložitelné celulózy prodlužuje u kukuřice hydrolyzní a acidogenní fázi rozkladu. Proto je nutné dodržet koncentraci sušiny v době sklizně energetické siláže nejlépe do 33 %. To je ve struktuře rostlinných pletiv kukuřice maximum hemicelulózy a minimum celulózy a prakticky žádný lignin (Kára et al., 2007).

## **3.2 Bioplyn**

### **3.2.1 Historie, terminologie a biomasa**

V přírodě se postupně objevovaly přírodní zdroje směsí plynů biologického původu, které obsahovaly v různých koncentracích metan a oxid uhličitý. Postupem času se naučil člověk tyto plyny využívat. Číňané již v době 1000 let před n. l. hořlavé plyny používali. Až v průběhu 18. století začal být vědecký zájem o bioplyn. Ve druhé polovině 20. století se začaly šířit technologie výroby a využití bioplynu v bioplynových stanicích, navazující na zkušenosti z oblasti čistíren odpadních vod s biologickým stupněm čištění. Hlavní motivací byly opakující se energetické krize a obavy z vyčerpání tehdy známých ložisek ropy (Benda et al, 2012).



Koncem 20. století se začal velmi objevovat pojem „bioplyn“ jak v technicky odborné veřejnosti, ale také i v majoritní laické veřejnosti, kde byl synonymem čehosi ekologicky příznivého. Mezi odbornou veřejností však definice bioplynu není také zcela jednoznačná (Straka et al., 2006). Až široce rozvinutá praxe anaerobních postupů, používané k čištění odpadních vod, která se začala rozšiřovat na začátku 20. století, přinesla s sebou pojem „bioplyn“. I když v technické praxi se do šedesátých let používala pro bioplyn synonyma „kalový plyn“ či „čistírenský plyn“ (Straka et al., 2010).

Bioplyn je běžně považován za obnovitelný zdroj energie. Ve skutečnosti je tím základním obnovitelným zdrojem biomasa. Bioplyn je pouze výsledným produktem jednoho ze způsobů energetického využití biomasy (Benda et al., 2012). S rostoucí poptávkou po obnovitelných zdrojích energie se také více hovoří o výrobě bioplynu jako jednou z možností výroby energie. Tyto obnovitelné zdroje energie mají postupně nahrazovat fosilní paliva, která se v dnešní době masově používají. Tyto fosilní paliva však mají omezené zdroje a jednou dojde k vyčerpání těchto zdrojů (Brandejsová, Příbyla, 2009). Dalším důvodem využívání biomasy je i požadavek na neutralitu produkce oxidu uhličitého do ovzduší – množství oxidu uhličitého pohlceného při růstu organické hmoty by se mělo rovnat jeho emisi při energetickém využití této hmoty. V České republice je biomasa nejvýznamnějším obnovitelným zdrojem energie (Benda et al., 2012).

Biomasa není jen to, co „naroste na poli nebo v lese“. Podle různých definic je to veškerá hmota biologického původu. Rozlišujeme dřevní biomasu (dendromasu), biomasu rostlin a zemědělských plodin (fytomasu) a biomasu živočišného původu (zoomasu). Biomasa je i biologická (resp. biologicky rozložitelná) část tzv. odpadů (průmyslových, zemědělských, komunálních a dalších) (Benda et al., 2012). Využívání biomasy pro energetické účely má řadu výhod:

- biomasa jako energetický zdroj a má obnovitelný charakter,
- umožňuje rozšiřovat nové způsoby podnikání, diverzifikovat podnikatelské aktivity na venkově, využívat nadbytečnou zemědělskou půdu,
- decentralizace výroby energie, k níž biomasa přispívá, je stabilizujícím prvkem v případě krizové situace v zásobování fosilními palivy,
- má menší negativní dopady na životní prostředí ve srovnání s těžbou, dopravou, skladováním a využitím fosilních paliv,
- biomasa jako domácí zdroj energie nahrazuje fosilní paliva z dovozu,
- přispívá k řešení problémů s nakládáním s biologicky rozložitelnými odpady,

- řízená produkce biomasy a využití odpadní biomasy přispívají k péči o krajinu,
- zdroje biomasy jsou plošně rozmístěny po celém území (Cenek et al, 2001).

Některé skutečnosti ve světovém měřítku však využití biomasy k energetickým účelům limitují:

- problémy s akumulací, dopravou a distribucí získané energie vznikají díky lokalizaci zdrojů biomasy a energetických spotřebičů,
- zvyšování produkce energetické biomasy vyvolává potřebu zajistit kapitálově nové výrobní subjekty,
- zvyšování konkurenceschopnosti využití biomasy k energetickým účelům je na současné technické úrovni závislá na dotační politice a dostupnosti úvěrů,
- záměrná produkce biomasy k energetickým účelům konkuruje výrobě biomasy k potravinářským, krmným a průmyslovým účelům (Benda et al., 2012).

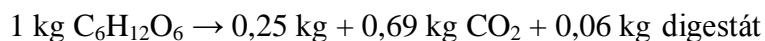
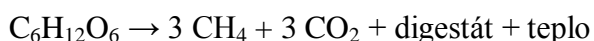
Biomasu určenou k energetickým účelům můžeme rozdělit do několika skupin:

1. fytomasa s vysokým obsahem lignocelulózy,
2. obiloviny (pšenice, žito, ječmen, oves, kukuřice, čirok aj.),
3. píce (ozdobice, krmný šťovík, chrastice rákosovitá, topolovka, konopí seté, sléz, křídlatka aj.),
4. dřeviny (topoly, vrby, akáty, olše aj.),
5. fytomasa olejnatých plodin (řepka olejka, slunečnice, len, dýně, palma olejná aj.),
6. fytomasa s vysokým obsahem cukru a škrobu (brambory, cukrová řepa, cukrová třtina aj.),
7. organické odpady živočišného původu,
8. směsi různých druhů odpadní biomasy (Pastorek et al., 2004).

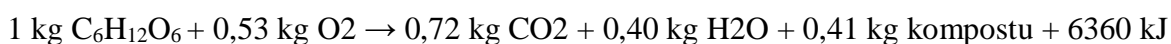
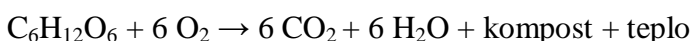
Všechny tyto druhy biomasy lze (po určité úpravě) využít jako vstupní suroviny pro výrobu bioplynu anaerobní fermentací (Benda et al., 2012).

Rozdíl mezi anaerobní fermentací a aerobní fermentací organického materiálu lze znázornit na modelovém materiálu glukóze  $C_6H_{12}O_6$  (Benda et al., 2012):

• Anaerobní rozklad:



- Aerobní rozklad:



Bioplyn je směs plynů, který vzniká anaerobní methanovou fermentací organických materiálů. Tento proces lze nazývat i jako anaerobní digesci, biogasifikaci, vyhnívání, anaerobní stabilizace kalů – obecně methanizace. Methanizace (biomethanizace) je soubor procesů, při nichž směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá biologicky rozložitelnou hmotu bez přístupu vzduchu. Konečnými produkty jsou stabilizovaná organická hmota (zbytková biomasa) a plyn – bioplyn, který je tvořen převážně methanem a oxidem uhličitým. Obsah methanu v bioplynu bývá 50 – 75 %, to velmi záleží na druhu rozkládaného materiálu (Havličková et al., 2008). Podle Quaschnig (2008) je oxidu uhličitého 25 – 45 % v bioplynu. Dále se zde vyskytuje také vodní pára, kyslík, dusík, amoniak, voda a sirovodík. S výhřevnou hodnotou 18 až 25 MJ.m<sup>-3</sup> (Koudřa et al., 2008).

Obsah methanu je zde nejvíce zastoupen. Mimo methanu a oxidu uhličitého se zde vyskytuje škála dalších plynů. Mohou to být zbytky vzdušných plynů, neúplně spotřebované produkty acidogeneze anebo další minoritní a stopové příměsi z předcházejících anebo simultánních reakcí organické hmoty (Straka et al., 2006).

### **3.2.2 Vznik a členění bioplynu**

Bioplyn vzniká vícestupňovým rozkladem organické hmoty, na kterou působí během rozkladu methanogenní, acetotrofní a hydrogenotrofní mikroorganismy. Při procesu je řada faktorů, které ovlivňují procesní a materiálové parametry, záleží na složení vkládaného materiálu, podílu vlhkosti, teplotě prostředí, zda nejsou přítomné inhibiční biochemické látky atd. (Kára et al., 2007).

Rozklad organických látek v anaerobním prostředí probíhá v přírodě za určitých podmínek samovolně nebo je záměrně vyvolán v biotechnických zařízeních. Výsledkem methanové fermentace je vždy směs plynů a zfermentovaný zbytek organické látky. Ve směsi se nachází tyto majoritní plyny CH<sub>4</sub> a CO<sub>2</sub>, dále je zde velká škála minoritních plynů. Pro tuto směs plynů se používají různé názvy podle jejich původu či místa vzniku. Tak rozeznáváme:

- 1) Zemní plyn – neobnovitelný zdroj energie, který vznikl rozkladem nahromaděné organické rostlinné hmoty v dávných dobách. Je energeticky nejbohatší, obsahuje až 98 % methanu.
- 2) Důlní plyn – forma zemního plynu, vznik podobný jako u zemního plynu. Jeho energetické využití je dost obtížné, spíše nemá energetické využití nebo pouze omezené, pro svoji výbušnost ve směsi s kyslíkem je častou příčinou důlních, ale i povrchových havárií.
- 3) Kalový plyn – v přírodě vzniká všude tam, kde se vyskytují rozkládající se organické sedimenty ve vodních dílech, umělých nádržích, jezerech, močálech, rybnících, které se pravidelně nečistí, ale také vzniká v biologickém stupni čistíren odpadních vod, rýžovištích, rašeliništích, uvolňuje se ze dna moří a oceánů, kde se methan pod vysokým tlakem vyskytuje i v pevné formě.
- 4) Skládkový plyn – na skládkách komunálního odpadu je 20 až 60 % organických odpadů, ze kterých při vzniku anaerobních podmínek v tělese skládky vzniká směs plynů s obsahem methanu, oxidu uhličitého, vodní páry a řady minoritních plynů v závislosti na složení skládkového materiálu. Povrchové výrony tohoto plynu jsou velmi nebezpečné, proto je žádoucí skládkové plyny získané při odplynění skládek komunálního odpadu využít k energetickým účelům nebo likvidovat bezpečnostním hořákem. Skládkový plyn se dá čerpat až 30 let po zakrytí skládky. Jeho produkce kulminuje po 10 až 15 letech, pak dojde k jejímu snižování v důsledku odčerpání živin pro anaerobní bakterie. Pokud se skládky k tomuto účelu zřizují dočasně, nazývají se reaktorové skládky.
- 5) Bioplyn – obecně se takto dá nazvat většina směsí plynů s vysokým podílem methanu a oxidu uhličitého, které vznikly činností mikroorganismů. V technické praxi se toto označení používá pro plynou směs vzniklou anaerobní fermentací vlhkých organických látek v umělých technických zařízeních, zpravidla s řízeným procesem. V literatuře se také vedle názvu anaerobní fermentace nachází označení anaerobní digesce, biogasifikace, methanová fermentace, methanové kvašení, biochemická konverze organické hmoty, biomethanizace a jiné více či méně známé termíny. Biomethan je bioplyn kvalitativně upravený, a to případně až na kvalitu zemního plynu (Pastorek et al., 2004).

### 3.2.3 Anaerobní fermentace

Proces, při němž anaerobní mikroorganismy rozkládají organické látky za tvorby methanu, se také označuje jako „methanizace“ (Straka et al., 2006).

Anaerobní proces – methanizace – jedná se o velmi složitý proces, který se skládá z mnoha dílčích, na sebe navazujících fyzikálních, fyzikálně-chemických a biologických procesů (Scarpini, 1988). Je to soubor dějů, při nichž směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá za anaerobních podmínek organické látky (substrát) přítomné ve zpracovávaných materiálech – kalech, odpadních vodách a organických odpadech (Straka et al., 2006). Produkt jedné skupiny mikroorganismů se stává substrátem skupiny druhé, proto výpadek jedné skupiny může způsobovat poruchy v celém systému (Brandejsová, Příbyla, 2009). Výsledným produktem je „stabilizovaná organická hmota“ obsahující zbytkovou biomasu a dále plyn, který je převážně tvořen methanem a oxidem uhličitým (Constatnt et al., 1989).

Dochází ke štěpení polymerních látek (polysacharidy, tuky a bílkoviny) na látky monomerní (cukry, mastné kyseliny, aminokyseliny). Z těchto monomerů pak vzniká prostřednictvím mikroorganismů bioplyn, který lze energeticky využívat ke kombinované výrobě elektrické energie a tepla (Schulz, Eder, 2004).

#### 3.2.3.1 Základní údaje o procesu

Biologického rozkladu organických látek se účastní mnoho různých kmenů mikroorganismů, proto jde o složitý mnohastupňový proces, jejímž výstupem je bioplyn. Bioplyn je ve skutečnosti směs methanu a dalších minoritních plynů (sulfanu, vodíku, dusíku, kyslíku, vodních par atd.), které jsou produkty souběžně probíhajících biochemických procesů (Benda et al., 2012). Anaerobní fermentaci vlhkých materiálů můžeme rozdělit na čtyři fáze:

- Hydrolyza je první fáze procesu, začíná v době, kdy je ještě v prostředí vzdušný kyslík. Kyslík se postupně spotřebovává aktivitou aerobních bakterií. Hydrolytické mikroorganismy nevyžadují přísně bezkyslíkaté prostředí. Předpokladem pro nastartování procesu je obsah vlhkosti nad 50 % hmotnostního podílu u vkládaného substrátu. Dochází zde působením extracelulárních hydrolytických enzymů (hydroláz) k rozkladu makromolekulárních rozpuštěných a nerozpuštěných organických látek

(polysacharidů, lipidů, proteinů) na nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě (Gerhardt, 2007).

- Acidogeneze, substrát v této fázi ještě obsahuje zbytky vzdušného kyslíku, při této fázi se dokončí tvorba anaerobního prostředí. Acidogenní bakterie transformují produkty hydrolýzy na vyšší mastné kyseliny, vodík, oxid uhličitý a kyselinu octovou.
- Acetogeneze, dochází k transformaci vyšších mastných organických kyselin na vodík, oxid uhličitý a kyselinu octovou. Při této fázi a při acidogenezi dochází k růstu kyselosti prostředí.
- Methanogeneze, hydrogenotrofní mikroorganismy transformují vodík a oxid uhličitý, vytvořený ve druhé a třetí fázi procesu, na methan a autotrofní mikroorganismy transformují kyselinu octovou na methan a oxid uhličitý (Straka et al., 2006).

U kontinuálního provozu všechny uvedené fáze anaerobní methanové fermentace probíhají současně (Brandejsová, Příbyla, 2009).

Důležitým faktorem pro zachování stability procesu anaerobní fermentace organických materiálů je optimální rovnováha v kinetice jednotlivých fází, které probíhají s velmi odlišnou kinetickou rychlostí. Např. u methanogenní fáze se uvádí, že je asi 5krát pomalejší než zbylé tři fáze. Tento fakt je zapotřebí zohlednit a přizpůsobit konstrukci bioplynových technologických systémů a dávkování surového materiálu, protože by mohlo dojít k přetížení fermentoru se všemi nepříznivými důsledky (Pastorek et al., 2004).

Z hlediska reakčních teplot můžeme rozdělit anaerobní procesy podle optimální teploty pro mikroorganismy:

1. kryofilní 0 až 5 °C (není technicky použitelná),
2. psychrofilní 5 až 27 °C,
3. mezofilní 27 až 45 °C,
4. termofilní 45 až 60 °C (Straka et al., 2006).

Pastorek et al. (2004) uvádí, že podle složení substrátu se vytvářejí vhodné podmínky pro množení určitých kmenů bakterií způsobujících rozklad organické hmoty. Množství organismů odpovídá jejich růstové křivce, na níž lze pozorovat 6 fází:

- 1) Lagová fáze – bakterie se adaptují podmínkám prostředí.
- 2) Fáze zrychleného růstu – bakterie jsou částečně adaptované a začínají se množit.

- 3) Fáze exponenciálního množení – zcela přizpůsobené mikroorganismy se silně množí, protože mají dostatek živin.
- 4) Fáze zpomaleného růstu – rychlost růstu množství mikroorganismů se zpomaluje. Začíná se projevovat nedostatek živin.
- 5) Stacionární fáze – vlivem počínajícího nedostatku živin je počet vznikajících a umírajících mikroorganismů v rovnováze.
- 6) Fáze poklesu - nedostatek živin způsobuje, že dochází k postupnému odumírání a rozkladu mikroorganismů.

Anaerobní mikroorganismy se stávají aktivními, jakmile se pro ně vytvoří příznivé podmínky, za kterých se množí. Jde především o tyto podmínky (Benda et al., 2012):

- Dostatek živin, který jim zajistí sušina organické látky v rozmezí do 50 %. Obvykle se obsah sušiny u mokré fermentace pohybuje od 8 do 12 %. Suchá fermentace probíhá v případě organického materiálu s obsahem sušiny 20 – 30 %, mezní hranice pro obsah sušiny je 50 – 60 %, kdy se nedostatek vlhkosti projeví inhibičně. Významnou roli hraje prvkové složení materiálu na vstupu. Optimální poměr uhlíku, dusíku, fosforu a draslíku je 600:20:6:1
- Většina anaerobních mikroorganismů je aktivní při teplotách nad 4 °C. Teploty do 20 až 25 °C vyhovují psychrofilním mikroorganismům, od 30 do 45 °C mezofilním mikroorganismům. Při teplotě nad 60 °C dochází ke koagulaci bílkovin a odumírání většiny kmenů anaerobních mikroorganismů. Byly však objeveny i ultratermofilní bakterie, které jsou schopné snášet teploty kolem 90 °C. V bioplynových stanicích jsou nejvíce využívány mezofilní bakterie, občas se i využívá termofilních a velmi zřídka psychrofilní bakterie. Teplotním režimům odpovídá intenzita produkce bioplynu, která roste se zvyšováním teploty, ale procentický obsah methanu v bioplynu s rostoucí teplotou však mírně klesá.
- Optimální pH vstupního materiálu je v rozmezí 6,8 – 7,2 a tento parametr se během fermentace mění. V důsledku tvorby vyšších mastných kyselin číslo pH nejprve klesá, vlivem methanogenních bakterií se stabilizuje v blízkosti neutrální hodnoty. Jeho trvalejší snížení pod hodnotu pH = 5 ohrožuje stabilitu procesu a signalizuje přetížení reaktoru vysokými dávkami surového materiálu.

- Prostředí bez kyslíku, ve kterém anaerobní mikroorganismy přežívají a jsou aktivní.
- Absence chemických prostředků jako jsou např. antibiotika, které potlačují činnost mikroorganismů.

Pro urychlení náběhu fermentačního procesu se využívá očkovací látky (inokulum) z fermentoru v ustáleném provozním stavu nebo se využívají sušené stimulatory obsahující methanogeny v inaktivovaném stavu (Kára et al., 2007).

### 3.2.3.2 Obecné vlastnosti materiálu vhodného pro anaerobní fermentaci

Biomasa je obecný pojem pro materiál vhodný pro využití k energetickým účelům formou methanogenní fermentace. Za biomasu je v užším pojetí považována organická hmota rostlinného původu vznikající na bázi fotosyntetické konverze sluneční energie (Sladký et al., 2002). Pojmem biomasa si také můžeme představit substanci biologického původu, která zahrnuje rostlinnou biomasu (fytomasu) pěstovanou na půdě, hydroponicky nebo ve vodě, živočišnou biomasu, vedlejší organické produkty a organické odpady (Pastorek, 2000).

Obecně platí, že bioplyn získáme za určitých podmínek z každého vlhkého organického materiálu, pro který používáme název biomasa. Tento materiál by měl mít malý podíl anorganické složky – popelovin, které se neúčastní fermentačního procesu (Benda et al., 2012). Biologická rozložitelnost a tím i výtěžnost bioplynu je závislá na chemickém složení substrátu. U běžných organických substrátů záleží na obsahu a poměru sacharidů, tuků, proteinů, podílu celulózy, hemicelulózy a ligninu. Každá komponenta má rozdílnou rozložitelnost a výtěžnost methanu (Dohányos et al., 2008). Při rozkladu dobře rozložitelných proteinů (bílkovin) se uvolňují do bioplynu sirnaté složky (např. sulfan = sirovodík), které je před konečným využitím bioplynu nutné v některých případech odstranit. Rozkladem lipidů (tuků) je možné dosáhnout nejlepší výtěžnosti, bohužel jejich podíl ve fermentovaném materiálu nebývá vysoký. Rozklad polysacharidů zvláště obsažených ve fytomase bývá hlavním zdrojem látek pro tvorbu methanu (Pastorek et al., 2004). Vliv na anaerobní proces mají různé faktory jako třeba číslo pH, teplota prostředí, anaerobní prostředí, limitní obsah inhibičních látek. Složení materiálu je třeba posuzovat podle poměru obsahu základních prvků, celkového obsahu uhlíku a dusíku, jejichž optimální poměr je C:N = 25 – 30. Obsah dalších prvků by měl být v poměru C:N:P:K = 600:20:6:1 (Benda et al., 2012).



Tabulka 12 Produktivita různých substrátů v procesu biomethanizace (Straka et al., 2006)

	produkce bioplynu (m <sup>3</sup> /kg rozložené sušiny)	obsah methanu teoretický	obsah methanu prakticky nalézáný
		(% obj.)	(% obj.)
Polysacharidy a jednoduché cukry	0,75 - 0,90	52 - 54	50 - 58
Proteiny	0,60 - 0,70		65 - 75
Lipidy	1,10 - 1,60	74 - 76	70 - 85

Biomasa by měla splňovat:

- Malý obsah anorganického podílu (popelovin).
- Organický materiál s vysokým podílem biologicky rozložitelných látek.
- Optimální obsah sušiny u pevných materiálů 22 až 25 % a u tekutých odpadů 8 až 14 %. Absolutní hranice obsahu sušiny pro anaerobní fermentaci je 50 %.
- Vstupní materiál by měl mít optimální hodnotu pH = 7 až 7,8. Tato hodnota se však během procesu mění.
- Důležitý je poměr uhlíkatých a dusíkatých látek, optimální je 30 : 1. Vyšší obsah dusíku se vyskytuje v exkrementech hospodářských zvířat a vysoký obsah uhlíku se vyskytuje v materiálech rostlinného původu.
- Materiál by neměl obsahovat nežádoucí příměsi potlačující mikrobiální rozvoj. Mohou to být antibiotika, která se využívají při léčbě zvířat nebo se přidávají preventivně do krmných směsí drůbeže. Také by se neměli používat materiály, které jsou v hnilobném rozkladu.
- Materiály mohou být narušeny předchozím zpracováním nebo manipulací (Pastorek et al., 2004).

Tabulka 13 Poměr C:N vybraných materiálů (Benda et al., 2012)

Druh materiálu	Poměr C:N
Stromová kůra	120:1
Čerstvá tráva	12-25:1
Listí	30-60:1
Drůbeží trus	10:1
Močůvka	2:1
Kejda skotu	10:1
Obilná sláma	60-100:1
Bramborové slupky	13-19:1
Obilné plevy	10-11:1
Ovocná dřev	50:1
Pokrutiny	9-12:1

Tabulka 14 Produkce bioplynu pro některé vybrané substráty (Kára et al., 2007).

Substrát	Obsah sušiny	Produkce bioplynu		Koncentrace methanu v bioplynu
	%	m <sup>3</sup> /t org. sušiny	m <sup>3</sup> /t vlhké hmoty	%
Silážní kukuřice	33	586,1	185,3	52,2
Travní siláž	35	583,8	182,3	54,1
Zbytky z krmení (silážní kukuřice/travní siláž)	34	585	184	53
Prasečí kejda	6	400	20,4	60

Kára et al. (2007) uvádí, výtěžek bioplynu z hektaru je závislý na výnosu biomasy z jednotky plochy, na zralosti rostliny, termínu sklizně porostu, kvalitě řezanky (délce řezanky), způsobu uskladnění a kvalitě konzervace a na době setrvání ve fermentoru.

### 3.2.4 Chemické složení bioplynu

Princip vzniku bioplynu (zemní plyn, důlní plyn, kalový plyn, skládkový plyn, reaktorový plyn) je stejný. Jeho fyzikální a chemické vlastnosti však závisejí na materiálových a procesních parametrech. Ideální by bylo, kdyby vznikaly pouze dva majoritní plyny, a to oxid uhličitý a methan (Pastorek et al., 2004). V bioplynu se však nacházejí i další plyny, tyto plyny jsou minoritní a jsou zastoupeny v úrovních desetin procent u kvalitního bioplynu. (Straka et al., 2010). V bioplynech bylo identifikováno více než 140 látek, které dosahují celkové koncentrace až 2000 mg/m<sup>3</sup> (0,15 % obj.) (Schweigkofler, Niessner, 2001).

Je-li v bioplynu zvýšený obsah CO<sub>2</sub>, tak nebyly zajištěny dobré podmínky pro anaerobní fermentaci. Výskyt O<sub>2</sub> v pozdějších fázích anaerobní fermentace může ukazovat na špatné netěsnosti fermentoru a tím dochází k zavzdušňování pracovního prostoru. Methan s tímto vzdušným kyslíkem může vytvořit výbušnou směs. Jsou-li v bioplynu stopy vodíku, tak došlo k narušení rovnováhy mezi průběhem acidogenní a methanogenní fáze, způsobené nadměrnou zátěží reaktoru surovým materiálem a dochází k inhibičním účinkům potlačující rozvoj methanogenních organismů. Stopy oxidu uhelnatého se spíše mohou vyskytovat u skládek komunálního odpadu, většinou to signalizuje lokální vznik ložisek požáru při suché anaerobní fermentaci. V bioplynu se také nachází sirovodík (sulfan), vzniká při rozkladu bílkovin. Také se mohou vyskytovat stopy argonu vzdušného původu, amoniaku a oxidu dusného (Pastorek et al., 2004). Proteiny a lipidy poskytují vyšší výtěžky a vyšší koncentrace methanu oproti polysacharidům. Dále obsah methanu a oxidu uhličitého ovlivňuje mnoho dalších parametrů. Je to především skladba a stav přizpůsobení bakteriálních kultur a dále teplota, pH, typ reaktoru, zatížení reaktoru a podobné vlivy. Na těchto parametrech závisí nejen poměrné zastoupení methanu a oxidu uhličitého v bioplynu, nýbrž i celkový měrný výtěžek methanu vztažený na hmotnostní jednotku zpracovaného substrátu (Straka et al., 2006).

### 3.2.5 Zařízení pro anaerobní procesy

#### 3.2.5.1 Rozdělení zařízení

Samotné zařízení pro výrobu bioplynu jsou uzavřené nádrže nazývané reaktory nebo fermentory. Zde probíhá řízená anaerobní fermentace organických materiálů za vzniku bioplynu. Celý komplex technologického zařízení pro výrobu bioplynu označujeme jako bioplynová stanice (Weiland, 2006). Bioplynové stanice (BPS) se skládají ze vstupní

(homogenizační) nádrže – fermentoru, jehož součástí je obyčejný plynojem, výstupní nádrže, které jsou určené na skladování vyhnilého materiálu před konečným využitím, kogenerační jednotkou, zařízením pro využívání odpadového tepla a dalších pomocných zařízení. Nejdůležitější částí BPS je fermentor (Zacharda et al., 2009). Reaktory se konstruují na různém principu jako jednoduché nebo kombinované, technologické linky se mohou skládat z jednoho nebo více reaktorů v sériovém nebo paralelním řazení. Společným znakem jednofázového procesu je sdružený odběr bioplynu a liniový průtok reagující suspenze. Systém dvoufázové technologie obsahuje oddělený předreaktor pro kyselé procesy, plyn s obsahem vodíku se zpracovává buď odděleně anebo se vtlačuje do druhé (methanizační) fáze procesu (Profeld et al., 2008).

Podle dávkování surového materiálu rozlišujeme technologie (Pastorek et al., 2008):

- Diskontinuální (s přerušovaným provozem, cyklické, dávkové atd.) – doba jednoho pracovního cyklu odpovídá době zdržení materiálu ve fermentoru, využívá se při suché fermentaci tuhých organických materiálů. Způsob manipulace s materiálem je náročný na obsluhu.
- Semikontinuální – doba mezi jednotlivými dávkami je kratší než doba zdržení materiálu ve fermentoru, tento způsob plnění fermentorů se nejvíce využívá při zpracování tekutých organických materiálů, materiál se dávkuje 1krát až 4krát i vícekrát za den, tento technologický proces se dá snadno automatizovat a proto není náročný na obsluhu.
- Kontinuální – používá se při plnění fermentorů, které jsou určeny pro zpracování organických tekutých odpadů s velmi malým obsahem sušiny.

Podle podílu vlhkosti se technologické systémy pro výrobu bioplynu principiálně liší podle vlastností zpracovávaného materiálu, záleží především na tom, zda je zpracovávaný materiál v rozpuštěné formě nebo suspenzi. U suspenzních materiálů je rozhodující velikost a koncentrace tuhých částic. Z tohoto hlediska lze methanizační reaktory dělit na reaktor pro zpracování rozpuštěného substrátu (odpadní vody), reaktory pro zpracování substrátu v suspenzi (obsah sušiny do 10 – 12 %, např. kaly, kejdy) a reaktory pro zpracování tuhých materiálů (obsah sušiny 10 – 50 %, např. slamnatý hnůj) (Profeld et al., 2008). Pastorek et al. (2004) ještě uvádí, u technologií na zpracování tekutých materiálů s nízkým obsahem sušiny 0,5 až 3 % je negativní energetická bilance, s vyšším podílem sušiny 3 až 14 % je pozitivní

energetická bilance. Také jsou bioplynové technologie kombinované. V ČR je většina aplikací založena na tzv. mokré technologii pracující se sušinami v reaktoru kolem 10 – 12 %.

U farem, kde se vyskytují pouze vysokosušinné substráty (např. podestýlka a různé druhy siláží a senáží), se řeší odpovídajícím ředěním biomasy vodou nebo fugátem, separovaným z fermentačního zbytku. Nadměrný obsah slámy (i když je rozdrčená) nebo dokonce podestýlka na bázi pilin může u mokrých technologií působit vážné provozní problémy (poruchy míchacího systému, tvorba krust, ucpávání čerpadel, apod.). Proto je důležité pečlivě vážit použitou technologii, systémy míchání, přípravy suroviny tak, aby celý proces mohl bezproblémově fungovat (Profeld et al., 2008)

Technologie suché fermentace pracující s vyšší sušinou tvoří malou část aplikací, především je to z důvodu doposud nedokončeného technologického vývoje a nedostatku referencí na zařízení realizovaných v podmínkách České republiky (Profeld et al., 2008).

### 3.2.6 Využití bioplynu k energetickým účelům

Bioplyn je možné využít všude, kde se využívají i jiná plynná paliva. Předpokladem použití bioplynu je přizpůsobení spotřebiče bioplynu (Pastorek et al., 2004). Bioplyn je palivo, které je vysokým nositelem energie. Je porovnatelný s jinými běžně používanými plynnými palivy, jako je zemní plyn, propan-butan, atd. Využití bioplynu je mnohostranné. Použití je k výrobě elektrické energie, vaření, vytápění, ohřevu vody, k sušení, chlazení a jiné napájení infrazářičů. Jeho výhřevnost je v průměru 6,0 kWh/m<sup>3</sup>, což představuje asi 22,0 MJ/m<sup>3</sup>. Výhřevnost je hlavně závislá na obsahu methanu v bioplynu (Zacharda et al., 2009).

Tabulka 15 Výhřevnost bioplynu na základě obsahu methanu (Zacharda et al., 2009).

Bioplyn a obsah metanu	Výhřevnost v MJ. m <sup>3</sup>
100 % CH <sub>4</sub>	35,8
80 % CH <sub>4</sub>	28,6
67 % CH <sub>4</sub>	24,0
55 % CH <sub>4</sub>	19,7

Tabulka 16 Porovnání parametrů bioplynu s ostatními plynnými palivami (Zacharda et al., 2009).

<b>Plyn</b>		<b>Bioplyn</b>	<b>Zemní plyn</b>	<b>Propan</b>	<b>Methan</b>	<b>Vodík</b>
Výhřevnost	kWh.m <sup>-3</sup>	6	10	26	10	3
	MJ.m <sup>-3</sup>	22	36	93	36	11
Hustota	kg.m <sup>-3</sup>	1,2	0,7	2,01	0,72	0,09
Hustota v poměru k hustotě vzduchu		0,9	0,54	1,51	0,55	0,07
Zápalná teplota	°C	700	650	470	650	585
Max. rychlost postupu plamene ve vzduchu	m.s <sup>-1</sup>	0,25	0,39	0,42	0,47	0,43
Rozsah zápalné koncentrace plynu ve vzduchu	%	6-12	5-15	2-10	5-15	4-80
Teoretická potřeba vzduchu	m <sup>3</sup> .m <sup>3</sup>	5,7	9,5	23,9	9,5	2,4

Přeměna bioplynu na energii je možné zejména (Pastorek et al., 2004):

- přímým spalováním na výrobu tepla (používá se méně),
- výroba elektřiny a tepla (chladu),
- výroba biomethanu

Při spalování bioplynu je důležitým parametrem jeho kvalita a stálost energetických parametrů. Surový bioplyn musí být zbaven mechanických nečistot, odsířen, energeticky zhodnocen nad úroveň obsahu methanu 90 % a akumulován (Mitterleitner, 1999).

## 4 MATERIÁL A METODY

Cílem pokusu je porovnání možnosti využití čiroku cukrového k produkci biomasy vhodné pro výrobu bioplynu.

Dílčími cíli bylo:

- Porovnat odrůdy čiroku cukrového (Bovital, Goliath a Sucrosorgho) k produkci biomasy, vhodné k produkci bioplynu.
- Stanovení optimální struktury porostu odrůd čiroku cukrového (Bovital, Goliath a Sucrosorgho), včetně vhodné meziřádkové vzdálenosti.
- Navrhnout optimální termín sklizně rostlin čiroku.

### 4.1 Charakteristika stanoviště

Polní maloparcelkové pokusy byly založeny ve Výzkumném stanici FAPPZ ČZU v Červeném Újezdu (okres Praha – západ). Stanovení produkčních a kvalitativních ukazatelů během vegetace a po sklizni bylo realizováno na Katedře rostlinné výroby.

Výzkumná stanice Červený Újezd se nachází na západ od Prahy a rozkládá se na 50° 04' severní šířky a 14° 10' východní délky. Stanice byla vybudována Školním zemědělským podnikem Lány a v roce 1974 byla předána Vysoké škole zemědělské jako pracoviště kateder fyto technického směru Agronomické fakulty. Průměrná nadmořská výška dosahuje 405 m nad mořem. Stanice hospodaří na ploše 30 ha. Pokusné pole se nachází v řepařské výrobní oblasti. Převažujícím půdním druhem jsou spraše a nevápnité sprašové pokryvy. Genetickým půdním představitelem je hnědozem. Pokusné plochy jsou situovány na východní straně katastru obce Červený Újezd. Hloubka ornice je 28 – 40 cm. Půda má mírný obsah humusu, půdní reakce je neutrální, koloidní komplex plně nasycen. Obsah P, K je střední až dobrý.

Červený Újezd spadá do oblasti mírně teplé, mírně suché, převážně s mírnou zimou. Průměrná roční teplota činí 7,7 °C, průměrná teplota za vegetační období (IV. – IX.) je 13,8 °C. Roční úhrn srážek činí v této oblasti 507 mm a průměrný vegetační úhrn srážek 333 mm. Nejbohatší srážky jsou v červenci, nejchudší v lednu a únoru. Vegetační období v této oblasti trvá od 1. dubna do 30. září.

Tabulka 17 Charakteristika pokusné lokality Červený Újezd.

Lokalita	Nadmořská výška	Průměrná teplota za vegetaci (°C)	Úhrn srážek za vegetaci (mm)	Průměrný sluneční svit za vegetaci (h)
Červený Újezd	405 m	7,7	333	1044

## 4.1 Metodika pokusu

### 4.1.1 Maloparcelkové pokusy

Pokus byl na Výzkumné stanici FAPPZ ČZU v Červeném Újezdě, základní údaje o zakládání porostu jsou v tabulce 18. V roce 2010 byl plánován výsev na 17. května, ale kvůli nepříznivému počasí byl porost založen až na 10. června. V roce 2011 a 2012 byl porost založen 17. května. Do pokusu, ve kterém srovnáváme různé odrůdy čiroku cukrového, byly zařazeny odrůdy, Goliath-Biomass 133 od firmy Saatbau Linz, Bovital od firmy SAATEN – UNION, Sucrosorgho 506 od firmy Syngenta Czech.

Maloparcelkové pokusy byly založeny ve třech opakováních, na sklizňových parcelách o velikosti 12 m<sup>2</sup>. Hnojení dusíkem je znázorněno v tab. 18. Čirok cukrový byl vyséván do hloubky 2 cm. Výsevek byl u odrůd 7 kg.ha<sup>-1</sup>. Během vegetace nebyla aplikována žádná hnojiva k přihnojení porostu. Na výživě plodin čiroku cukrového se tedy z velké části podílela „stará půdní síla“. Odrůdy byly vysévány ve třech meziřádkových vzdálenostech, abychom mohli pozorovat vliv meziřádkové vzdálenosti na produkční ukazatele odrůd. V pokusu byly zvoleny meziřádkové vzdálenosti 25, 50 a 75 cm. V roce 2010 nebyla provedená herbicidní ochrana porostu. V roce 2011 a 2012 byl před setím použit Roundup Rapid v dávce 4 l/ha, postemergentní ošetření porostu bylo přípravkem Gardoprim Plus Gold 500 SC v dávce 2 l/ha.

Sklizeň proběhla každý rok v termínu 4. 10. Varianta měla tři opakování a z každého opakování bylo odebráno a vyhodnoceno 10 rostlin.



Tabulka 18 Charakteristika založení pokusu

Lokalita	Odrůda	Termín setí	Hloubka setí (cm)	Meziřádková vzdálenost (cm)	Výsevek (kg.ha <sup>-1</sup> )	Základní hnojení N (kg.ha <sup>-1</sup> ) v LAV
Červený Újezd	Bovital	10.6.2010	2	25, 50, 75	7	0
	Goliath			50		0
	Sucrosorgho			25, 50, 75		0
	Bovital	17.5.2011		25, 50, 75		80
	Goliath			25, 50, 75		80
	Sucrosorgho			25, 50, 75		80
	Bovital	17.5.2012		25, 50, 75		80
	Goliath			25, 50, 75		80
	Sucrosorgho			25, 50, 75		80

#### 4.1.2 Laboratorní pokusy

V laboratorních podmínkách byly testovány odebrané vzorky sušiny široku cukrového (Bovital, Goliath, Sucrosorgho) z maloparcelkových pokusů na produkci bioplynu a následném zjištění obsahu methanu v bioplynu. Na aparatuře Oxi Top jsme stanovili produkci bioplynu z celé části rostliny. V závislosti na výnosu sušiny jednotlivých variant a výnosu bioplynu ze sušiny stanovíme optimální meziřádkovou vzdálenost u jednotlivé odrůdy.

K testování jsme využili aparaturu Oxitop Control Merk. Ve třech opakováních byla fermentována odebraná sušina široků (Bovital, Goliath, Sucrosorgho) z jednotlivých termínů sklizně. Kvalita bioplynu je dána obsahem methanu a oxidu uhličitého, tyto plyny jsme v bioplynu zjišťovali pomocí analyzátoru plynů. Pro očkování fermentace byl použit digestát z bioplynové stanice ZD Krásná Hora. Doba zdržení ve fermentoru byla 28 dní.

### **4.1.3 Charakteristika hybridů čiroku cukrového**

#### **Bovital**

- hybrid čiroku cukrového od firmy SAATEN - UNION
- raný hybrid čiroku s dobrým obsahem sušiny a vysokým výnosem také na suchých lokalitách
- lze jej pěstovat i ve vyšších oblastech a to až do 600 m nad mořem
- odrůda je vhodná pro výrobu biomasy po obilovinách sklizených na GPS
- vyznačuje se nižší potřebou vody (20 - 30%) pro tvorbu výnosu než např. kukuřice
- není vhodné pěstovat tuto odrůdu na studených a přemokřených půdách
- snáší lehké a písčité půdy.
- dobrá snášenlivost v monokultuře
- výška porostu 3,5 - 4,5 m. Doba výsevu je ideální nad 14 °C
- hloubka setí 2 – 4 cm

#### **Goliath-Biomass 133**

- hybrid čiroku cukrového od firmy Saatbau Linz
- nejranější čirok na trhu, intenzivní hybrid
- ideální předplodinou po sklizni kukuřice je ozimé žito pěstované na siláž
- optimální termín setí (15.5.)
- doba výsevu je ideální při teplotě půdy vyšší 12 °C
- je citlivý na květnové a červnové mrazíky nebo ochlazení v průběhu vývoje
- počáteční vývoj čiroku je velmi pomalý
- nejvyšší nárůst sušiny dosahuje Goliath v měsíci srpnu
- vzhledem k pomalému počátečnímu vývoji není vhodné čirok umísťovat na svažité pozemky, kde hrozí eroze půdy

#### **Sucrosorgho 506**

- hybrid čiroku cukrového od firmy Syngenta Czech
- mimořádná plasticita
- extrémní suchovzdornost, 100% zabezpečení výnosu na suchých stanovištích
- v našich podmínkách fyziologicky dozrává a vytváří latu se semeny
- semena při zrání nevypadávají z laty

- mimořádná plasticita a výnos až 100 tun zelené hmoty z hektaru v dobrých podmínkách
- má velmi rychlý počáteční růst
- dává vysoké výnosy zelené hmoty i na stanovištích nevhodných pro silážní kukuřici
- má vysoký obsah karoténu, bílkovin, vápníku a hořčiku
- pro dosažení optimální kvality siláže je nutné čirok míchat se silážní kukuřicí nebo čirok a kukuřici pěstovat jako dvojpločinu

## 4.2 Sledované ukazatele pokusu v letech 2010 - 2012

### 4.2.1 Sklizňová sledování

U polních pokusů byly sledovány tyto znaky:

- výška rostlin (cm) – ze sklizené varianty byla vždy vybrána reprezentativní rostlina a u té byla změřena výška
- výnos čerstvé nadzemní biomasy čiroku ( $t \cdot ha^{-1}$ ) – výnos čerstvé biomasy byl stanoven na základě zvažení rostlin z dané varianty a přepočteno na hektar
- obsah sušiny (%) – z každé varianty bylo vybráno 10 reprezentativních rostlin, rostliny byly rozřezány a zváženy v čerstvém stavu. Sušina byla stanovena v laboratorní sušárně
- výnos sušiny nadzemní hmoty ( $t \cdot ha^{-1}$ )

U laboratorních pokusů bylo hodnoceno:

- množství produkovaného bioplynu ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ) z 2. termínu sklizně – stanovena na základě výnosu sušiny na hektar a množství vyprodukovaného bioplynu z 1 kg sušiny
- množství  $CH_4$  v bioplynu ( $m^3 \cdot ha^{-1}$ ) – stanoveno na základě produkce bioplynu z hektaru a obsahu  $CH_4$  v bioplynu, který byl změřen analyzátozem plynu

## 5 VÝSLEDKY

### 5.1 Produkční ukazatele u hybridů čiroku cukrového

Pokus byl realizován v Červeném újezdě v letech 2010, 2011 a 2012. V pokusu byly zkoušeny tři hybridy čiroku cukrového (Bovital, Goliath a Sucrosorgho), každý hybrid byl založen při meziřádkové vzdálenosti 25, 50 a 75 cm a byl sledován vliv meziřádkové vzdálenosti na produkční ukazatele.

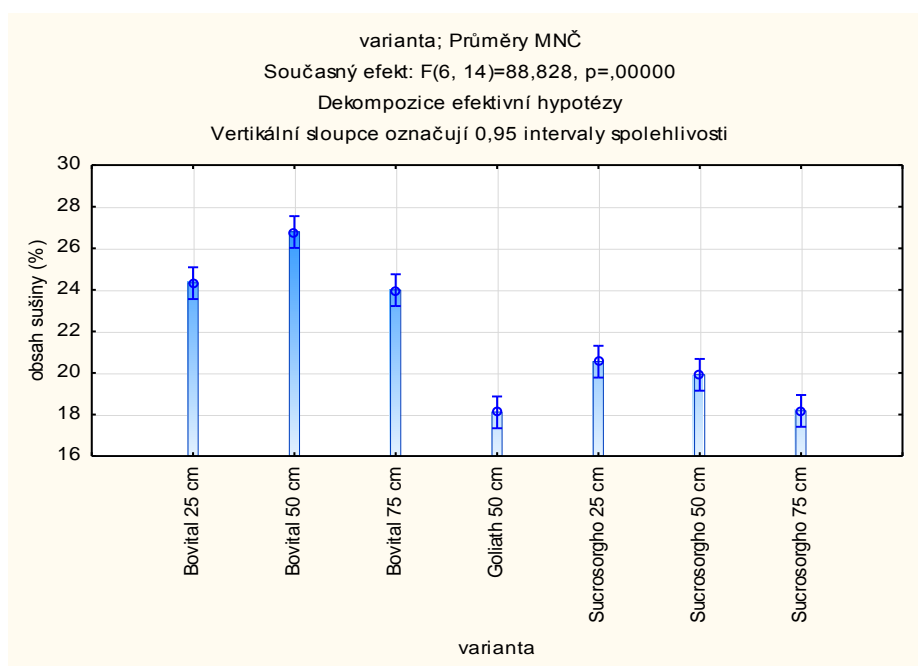
Tabulka 19 Průměrné hodnoty produkčních ukazatelů hybridů čiroku cukrového

VARIANTA	rok	průměrný obsah sušiny(%)	průměrný výnos (t.ha <sup>-1</sup> )	průměrný výnos sušiny (t.ha <sup>-1</sup> )	průměrná produkce CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> .t <sup>-1</sup> )	průměrný obsah CH <sub>4</sub> v bioplynu (%)	průměrná produkce CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )	průměrná produkce bioplynu (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> )
Bovital 25 cm	2010	24,32	31,63	11,75	214,00	67	2515,21	3754,05
Bovital 25 cm	2011	25,11	46,33	11,64	214,33	65,67	2493,95	3797,89
Bovital 25 cm	2012	25,41	46,47	11,81	217,67	66,33	2570,37	3874,92
Bovital 50 cm	2010	26,78	43,58	11,67	207,33	60	2419,58	4032,63
Bovital 50 cm	2011	25,67	45,80	11,76	199,33	59,00	2343,53	3972,09
Bovital 50 cm	2012	25,98	46,00	11,95	204,33	60,33	2442,26	4047,94
Bovital 75 cm	2010	23,98	37,15	8,91	197,33	47	1757,58	3739,54
Bovital 75 cm	2011	25,41	38,48	9,78	192,33	47,00	1880,51	4001,08
Bovital 75 cm	2012	25,71	39,28	10,10	192,67	47,67	1945,30	4081,05
Goliath 25 cm	2011	30,78	77,13	23,74	263,33	67,33	6251,29	9284,09
Goliath 25 cm	2012	31,14	78,73	24,52	260,00	66,00	6375,25	9659,47
Goliath 50 cm	2010	18,11	87,59	15,85	241,00	64	3820,65	5969,77
Goliath 50 cm	2011	30,45	75,60	23,02	235,67	62,33	5425,09	8703,36
Goliath 50 cm	2012	30,82	79,67	24,55	235,67	64,00	5785,76	9040,25
Goliath 75 cm	2011	29,65	59,01	17,49	228,33	58,00	3994,35	6886,81
Goliath 75 cm	2012	28,81	54,30	15,64	228,67	57,33	3577,22	6239,34
Sucrosorgho 25 cm	2010	20,54	54,28	11,14	250,00	56	2785,00	4973,21
Sucrosorgho 25 cm	2011	24,15	80,07	19,34	254,00	66,67	4912,05	7368,07
Sucrosorgho 25 cm	2012	23,60	81,67	19,27	258,67	64,67	4984,66	7708,24
Sucrosorgho 50 cm	2010	19,91	59,23	11,79	231,33	61	2728,19	4472,44
Sucrosorgho 50 cm	2011	25,24	63,40	16,00	232,00	61,33	3712,01	6052,19
Sucrosorgho 50 cm	2012	25,56	64,60	16,51	236,33	61,33	3902,28	6362,41
Sucrosorgho 75 cm	2010	18,17	57,06	10,35	241,67	56	2502,06	4467,96
Sucrosorgho 75 cm	2011	25,55	68,92	17,61	228,00	55,67	4015,20	7212,93
Sucrosorgho 75 cm	2012	25,86	70,43	18,21	226,67	56,00	4127,60	7370,71

### 5.1.1 Vliv meziřádkové vzdálenosti vybraných hybridů čiroku na produkční ukazatele v roce 2010

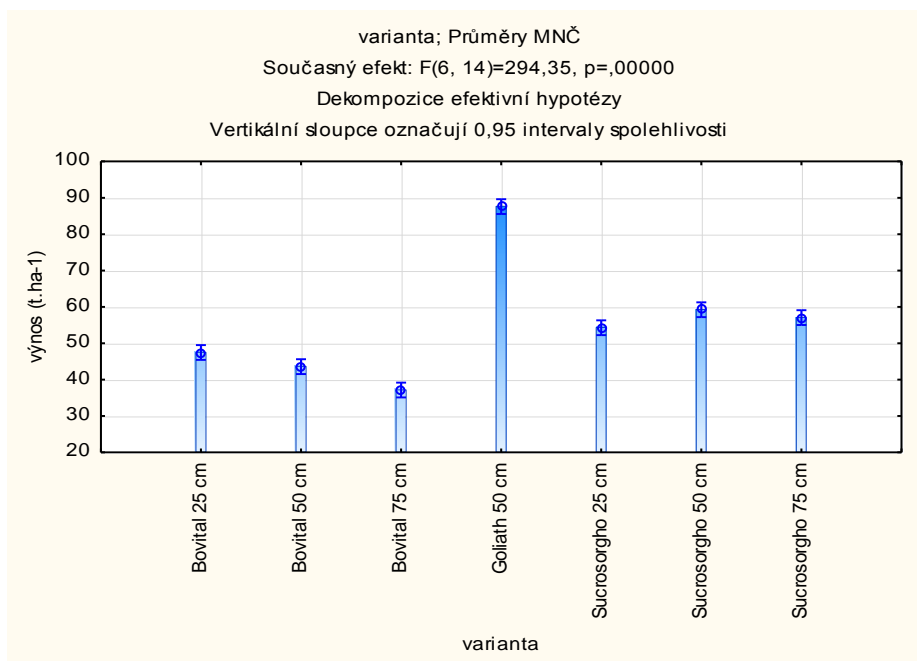
Po vyhodnocení výsledků bylo zjištěno, že odrůda Bovital má vyšší obsah sušiny v rostlinách oproti ostatním odrůdám, to je statisticky průkazné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Nejmenší obsah sušiny byl u odrůdy Goliath při meziřádkové vzdálenosti 50 cm a u odrůdy Sucrosorgho při 75 cm.

Graf 1: Vliv meziřádkové vzdálenosti na obsah sušiny



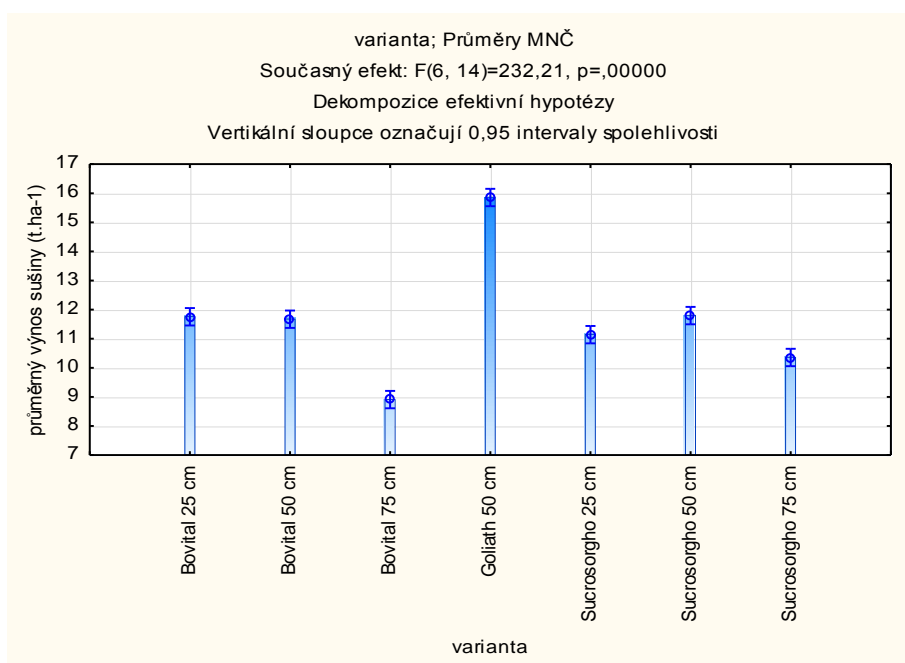
Z grafu 2 je viditelné, největší výnos zelené hmoty je u odrůdy Goliath, to je statisticky průkazné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Z odrůd méně výnosná je Bovital. Nejmenší výnos byl u varianty s meziřádkovou vzdáleností 75 cm.

Graf 2: Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos čerstvé hmoty



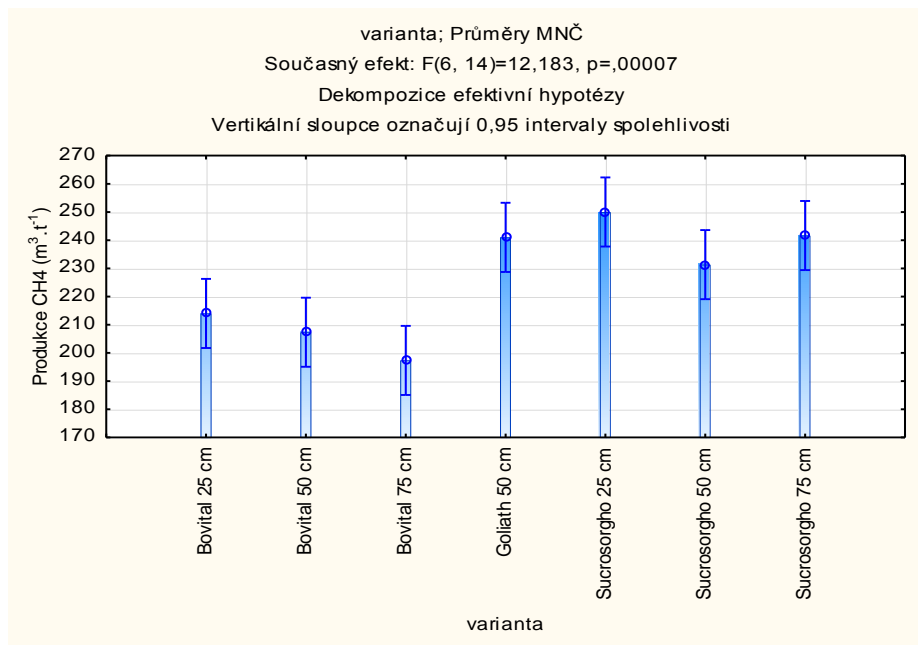
Největší výnos sušiny je statisticky průkazné u odrůdy Goliath. U odrůdy Bovital není rozdíl mezi variantou 25 a 50 cm v produkci sušiny, ale při 75 cm dochází k poklesu výnosu. U odrůdy Sucrosorgho je největší výnos u varianty 50 cm.

Graf 3: Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos sušiny



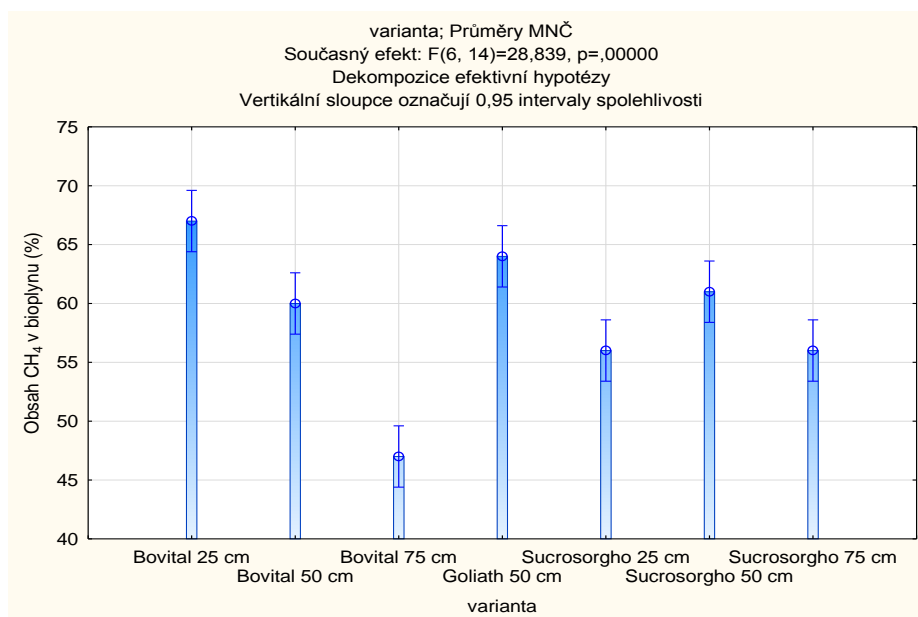
Nižší produkce methanu z tuny sušiny je u odrůdy Bovital v porovnání s odrůdou Goliath, to je statisticky průkazné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Největší produkce je u odrůdy Sucrosorgho při meziřádkové vzdálenosti 25 cm, ale není to statisticky průkazné.

Graf 4: Vliv meziřádkové vzdálenosti na produkci methanu ze sušiny



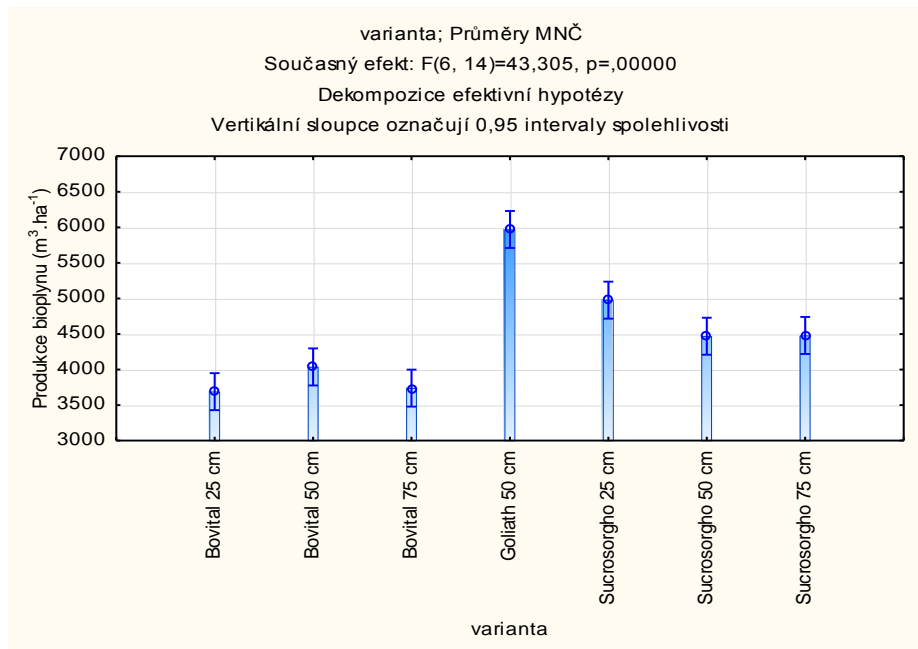
U odrůdy Bovital je nejvyšší obsah methanu v bioplynu při meziřádkové vzdálenosti 25 cm, nejnižší při 75 cm. To je statisticky průkazné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . U odrůdy Sucrosorgho je nejvyšší produkce při meziřádkové vzdálenosti 50 cm, to je statisticky průkazné.

Graf 5: Vliv meziřádkové vzdálenosti na obsah methanu v bioplynu



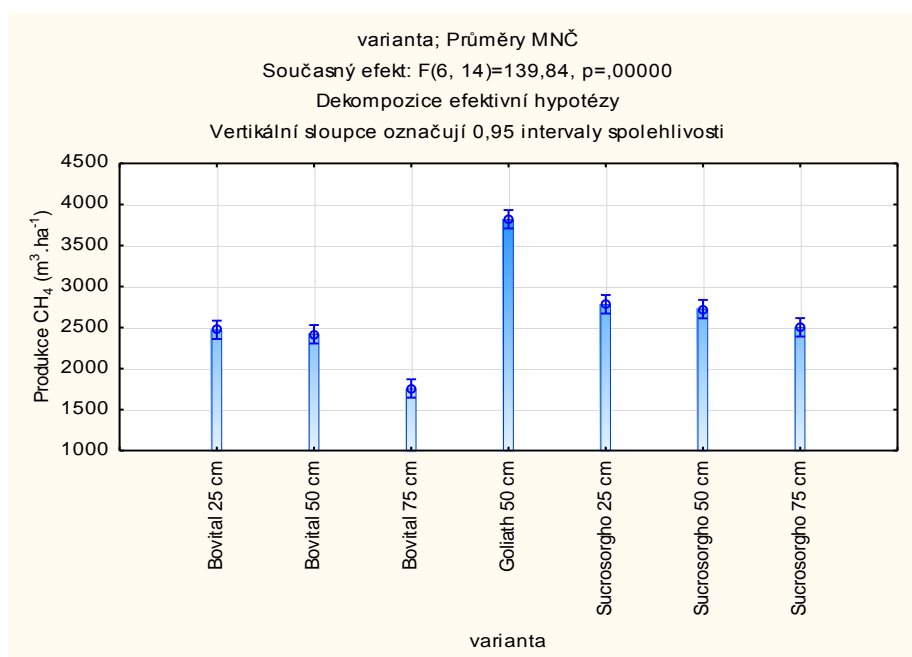
Nejvyšší produkce bioplynu ze sledovaných hybridů byla u Goliath. Nejnižší produkce byla u odrůdy Bovital. Odrůda Sucrosorgho vykazovala vyšší produkci při meziřádkové vzdálenosti 25 cm. To je statisticky průkazné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

Graf 6: Vliv meziřádkové vzdálenosti na produkci bioplynu z hektaru



Ze sledovaných odrůd byla zjištěna nejvyšší produkce methanu z plochy u hybridu Goliath při meziřádkové vzdálenosti 50 cm, nejnižší produkce methanu byla u odrůdy Bovital při 75 cm. To je statisticky průkazné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . U odrůdy Sucrosorgho byla nižší produkce při meziřádkové vzdálenosti 75 cm.

Graf 7: Vliv meziřádkové vzdálenosti na produkci methanu z plochy



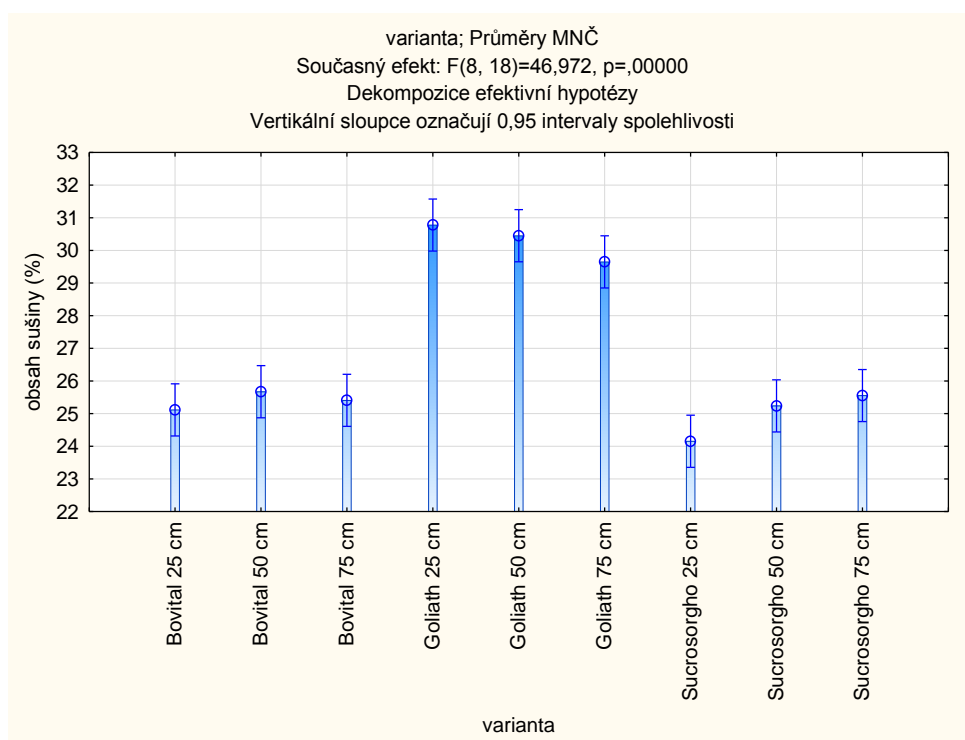


V roce 2010 byly hodnoceny tři hybridy čiroku cukrového (Bovital, Goliath a Sucrosorgho) na pokusných pozemcích v Červeném Újezdě. Byl posuzován vliv meziřádkové vzdálenosti na produkční ukazatele. Rostliny byly sklizeny 4.10.2010. Sušina v rostlinách se pohybovala mezi 17 – 27 %. Odrůda Bovital vykazovala vyšší obsah sušiny v porovnání s ostatními hybridy. Největší výnos čerstvé hmoty byl u odrůdy Goliath při 25 cm, ale odrůda vyprodukovala i nejvíce sušiny z hektaru. To je statisticky průkazné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Nejmenší produkce zelené hmoty a sušiny byla zaznamenána u odrůdy Bovital a nejslabší byla varianta s meziřádkovou vzdáleností 75 cm. Nejsledovanější faktor pro výrobce bioplynu je produkce methanu z plochy. Největší produkce methanu byla u odrůdy Goliath při 50 cm ze všech odrůd a variant. Tato varianta měla průměrnou produkci methanu  $3820 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . Druhá největší produkce byla u Sucrosorgha na 25 cm s průměrnou produkcí methanu  $2785 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . Třetí největší produkce byla u Sucrosorgha při 50 cm s průměrnou produkcí methanu  $2728 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . Nejmenší produkce methanu byla u odrůdy Bovital při 75 cm, zde byla produkce  $1757,5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  methanu. V roce 2010 byly vyhodnoceny jako vhodné odrůdy Goliath a Sucrosorgho. U odrůdy Sucrosorgho byla vhodná meziřádková vzdálenost 25 a 50 cm. Méně vhodná odrůda je Bovital. U odrůdy Bovital byly vyhodnoceny v daném roce jako vhodnější meziřádkové vzdálenosti 25 a 50 cm. V roce 2010 se osvědčily užší meziřádkové vzdálenosti (25 a 50 cm) než meziřádková vzdálenost 75 cm.

### 5.1.2 Vliv meziřádkové vzdálenosti vybraných hybridů čiroku na produkční ukazatele v roce 2011

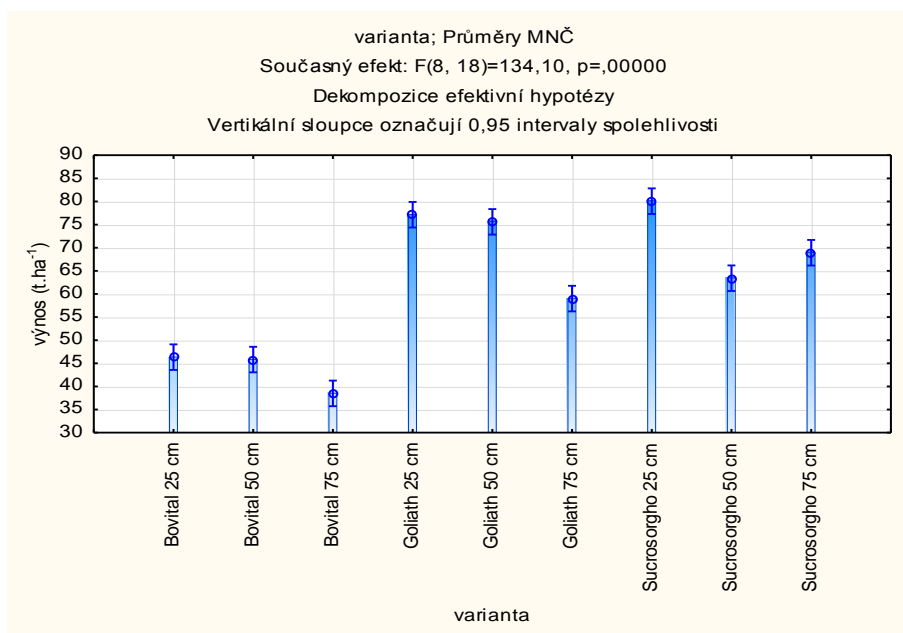
Po vyhodnocení výsledků bylo zjištěno, že statisticky průkazný rozdíl na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  je v roce 2011 u hybridu Goliath, kdy má vyšší obsah sušiny než ostatní hybridy. Není statisticky průkazný rozdíl u hybridů mezi jednotlivými variantami s meziřádkovou vzdáleností.

Graf 8: Vliv meziřádkové vzdálenosti na obsah sušiny



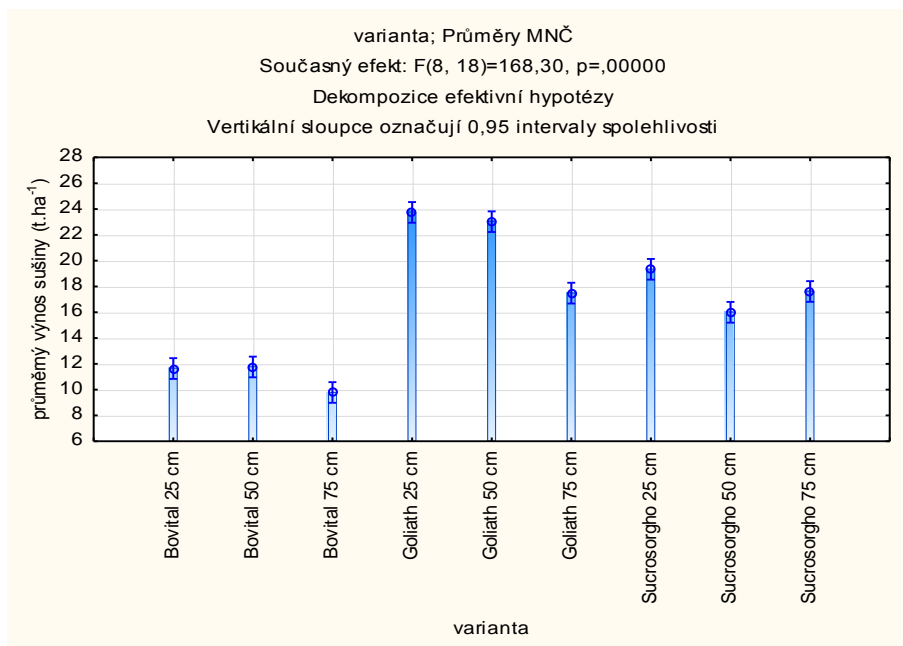
Po vyhodnocení průměrného výnosu čerstvé hmoty na hektar v roce 2011 byly zjištěny nejvyšší hodnoty u odrůdy Sucrosorgho s meziřádkovou vzdáleností 25 cm. Nejmenší hodnoty byly zjištěny u odrůdy Bovital s meziřádkovou vzdáleností 75 cm. U odrůdy Bovital je statisticky průkazné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ , že v roce 2011 byl nejnižší výnos čerstvé hmoty při meziřádkové vzdálenosti 75 cm. U odrůdy Goliath je statisticky průkazný nejnižší výnos při meziřádkové vzdálenosti 75 cm. U odrůdy Sucrosorgho je statisticky průkazný nejnižší výnos při meziřádkové vzdálenosti 50 cm a nejvyšší výnos při meziřádkové vzdálenosti 25 cm.

Graf 9: Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos čerstvé hmoty



Po vyhodnocení vlivu meziřádkové vzdálenosti na výnos sušiny na jednotku plochy bylo zjištěno, že nejnižší výnos sušiny ze všech variant vykazuje hybrid Bovita při meziřádkové vzdálenosti 75 cm, to je statisticky průkazný rozdíl na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Nejvyšší výnos sušiny je u odrůdy Goliath s meziřádkovou vzdáleností 25 a 50 cm.

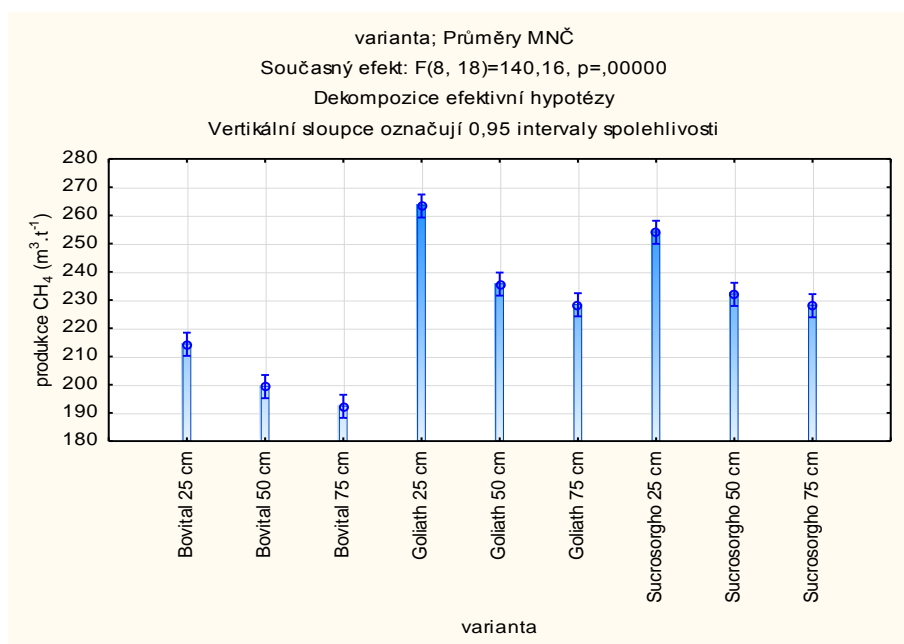
Graf 10: Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos sušiny



Po vyhodnocení průměrné produkce methanu ze sušiny, byla naměřena nejvyšší produkce methanu u odrůdy Goliath u varianty s meziřádkovou vzdáleností 25 cm, to je

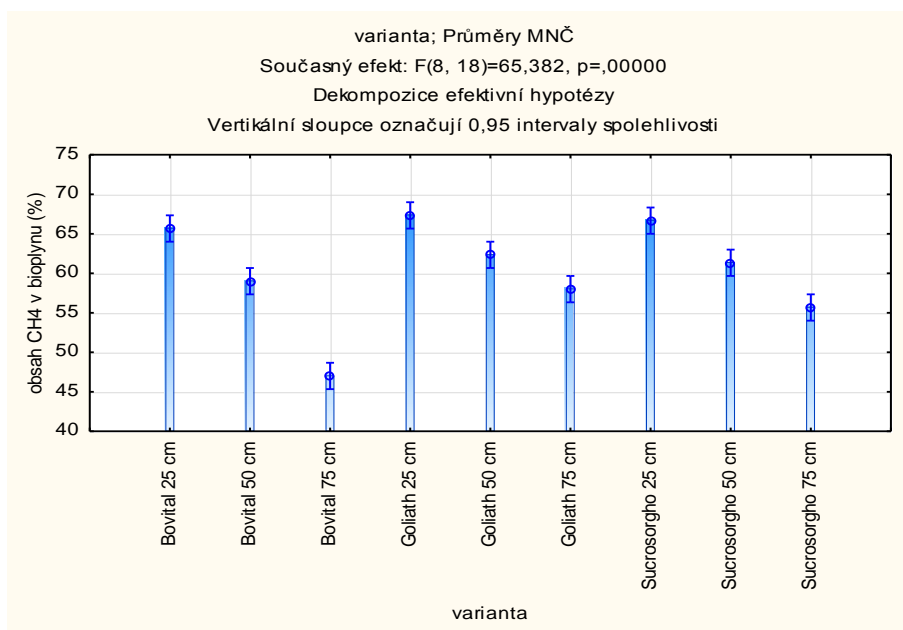
statisticky průkazný rozdíl na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Nejvyšší produkce je u odrůdy Bovital s meziřádkovou vzdáleností 75 cm.

Graf 11: Vliv meziřádkové vzdálenosti na produkci methanu ze sušiny



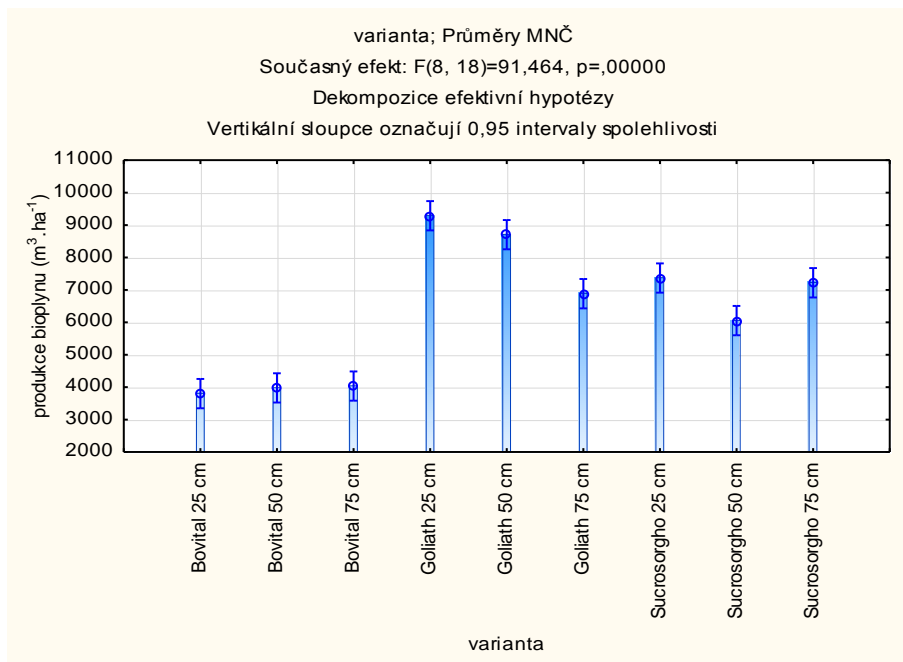
Po vyhodnocení průměrného obsahu methanu v bioplynu byly naměřeny nejvyšší hodnoty u odrůdy Goliath při meziřádkové vzdálenosti 25 cm, u odrůdy Sucrosorgho při meziřádkové vzdálenosti 25 cm a u odrůdy Bovital při meziřádkové vzdálenosti 25 cm v porovnání s ostatními variantami téže odrůdy. Toto tvrzení je statisticky průkazné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . V roce 2011 je statisticky průkazné, že odrůdy při užší meziřádkové vzdálenosti obsahují více methanu v bioplynu.

Graf 12: Vliv meziřádkové vzdálenosti na průměrný obsah methanu v bioplynu



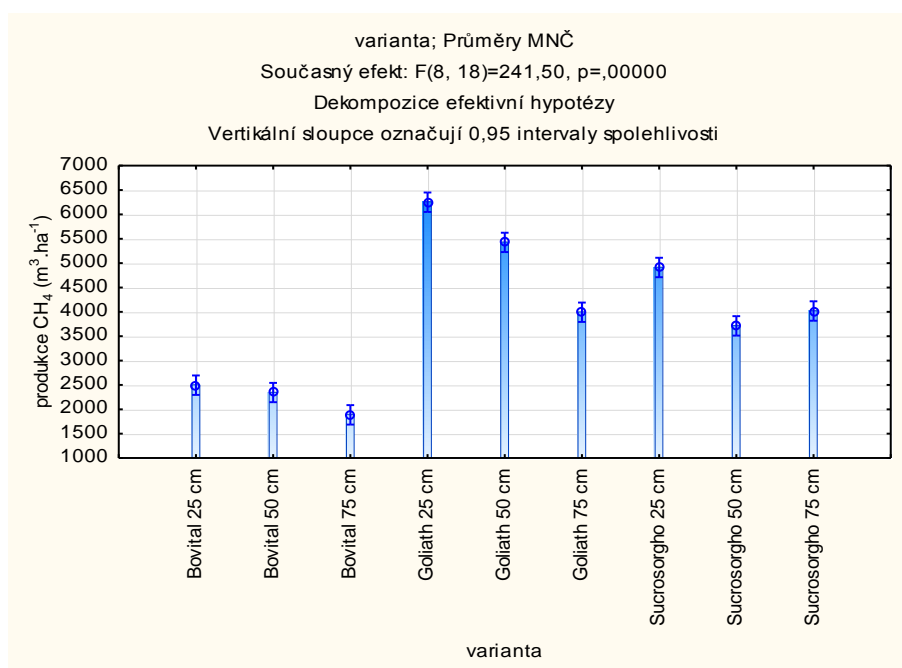
Po vyhodnocení průměrné produkce bioplynu je vidět, že u odrůdy Bovital není vliv meziřádkové vzdálenosti na produkci bioplynu. U odrůdy Goliath je nejvyšší výnos u varianty 25 a 50 cm, statisticky průkazný nejnižší výnos je u varianty 75 cm. U odrůdy Sucrosorgho je nejvyšší výnos u varianty 25 a 75 cm, nejnižší při meziřádkové vzdálenosti 50 cm.

Graf 13: Vliv meziřádkové vzdálenosti na produkci bioplynu z plochy



Po vyhodnocení výsledků, je statisticky průkazný rozdíl na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  u odrůdy Goliath při meziřádkové vzdálenosti 25, tato varianta v roce 2011 vykazovala nejvyšší produkci methanu ze zkoušených odrůd. Nejnižší produkce ze všech odrůd byla zjištěná u Bovitalu při meziřádkové vzdálenosti 75 cm a je statisticky průkazný. U odrůdy Bovital není statisticky průkazný vliv meziřádkové vzdálenosti na produkci methanu při meziřádkové vzdálenosti 25 a 50 cm. U odrůdy Goliath je nejnižší produkce methanu při meziřádkové vzdálenosti 75 cm. Odrůda Sucrosorgho vykazovala statisticky průkazný nejvyšší výnos při meziřádkové vzdálenosti 25 cm.

Graf 14: Vliv meziřádkové vzdálenosti na produkci methanu z plochy



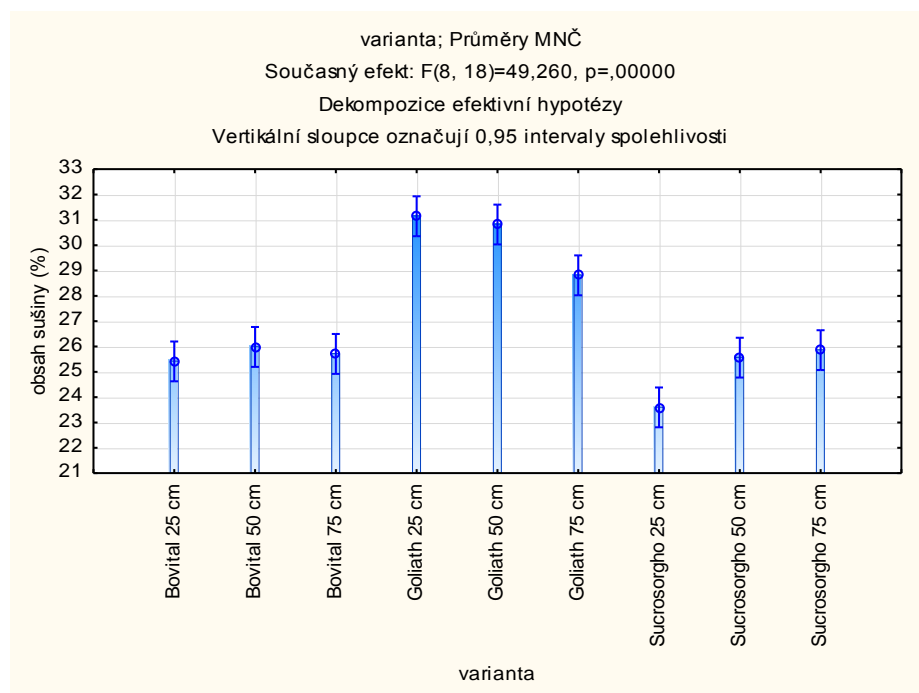
V roce 2011 byly hodnoceny tři hybridu široku cukrového (Bovital, Goliath a Sucrosorgho) na pokusných pozemcích v Červeném Újezdě. Byl posuzován vliv meziřádkové vzdálenosti na produkční ukazatele. Rostliny byly sklizeny 4.10.2011. Sušina v rostlinách se pohybovala mezi 24 – 32 %. Odrůda Goliath vykazovala vyšší obsah sušiny v porovnání s ostatními hybridy. Největší výnos čerstvé hmoty byl u odrůdy Sucrosorgho při 25 cm, ale kvůli nižšímu obsahu sušiny v rostlinách nevyprodukoval víc sušiny z hektaru než odrůda Goliath při 25 a 50 cm meziřádkové vzdálenosti. Mezi těmito dvěma variantami nebyl statisticky průkazný rozdíl. Nejmenší produkce zelené hmoty a sušiny byla zaznamenána u odrůdy Bovital a nejslabší byla varianta s meziřádkovou vzdáleností 75 cm. Nejsledovanější faktor pro výrobce bioplynu je produkce methanu z plochy. Největší produkce methanu byla u

odrůdy Goliath při 25 cm ze všech odrůd a variant. Tato varianta měla průměrnou produkci methanu  $6251 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . Druhá největší produkce byla u Goliath na 50 cm s průměrnou produkcí methanu  $5425 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . Třetí největší produkce byla u Sucrosorgha při 25 cm s průměrnou produkcí methanu  $4912 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ . Nejmenší produkce methanu byla u odrůdy Bovital při 75 cm, zde byla produkce  $1881 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  methanu. V roce 2011 byly vyhodnoceny jako vhodné odrůdy Goliath a Sucrosorgho. U odrůdy Goliath je optimální meziřádková vzdálenost 25 a 50 cm a u Sucrosorgha 25 cm. Méně vhodná odrůda je Bovital, u této odrůdy byly vyhodnoceny v daném roce jako vhodnější meziřádkové vzdálenosti 25 a 50 cm. V roce 2011 se osvědčily užší meziřádkové vzdálenosti (25 a 50 cm) než meziřádková vzdálenost 75 cm. U odrůd Bovital a Goliath při meziřádkové vzdálenosti 75 cm došlo ke značnému poklesu produkce methanu z hektaru k ostatním variantám, pouze u odrůdy Sucrosorgho byla větší produkce methanu v porovnání s meziřádkovou vzdáleností 50 cm.

### 5.1.3 Vliv meziřádkové vzdálenosti vybraných hybridů čiroku na produkční ukazatele v roce 2012

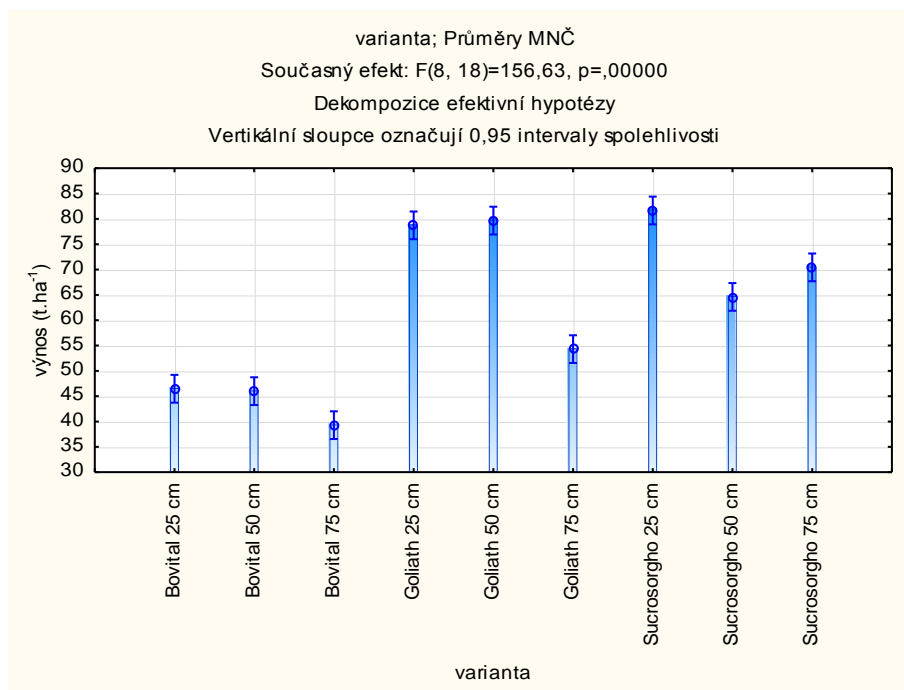
Po vyhodnocení výsledků je statisticky neprůkazný vliv meziřádkové vzdálenosti u odrůdy Bovital na obsahu sušiny v rostlině. Odrůda Goliath vykazuje z odrůd nejvyšší statisticky průkazný obsah sušiny. Odrůda vykazuje nižší obsah sušiny při meziřádkové vzdálenosti 75 cm a odrůda Sucrosorgho při 25 cm.

Graf 15: Vliv meziřádkové vzdálenosti na obsah sušiny



U odrůdy Bovital byl zjištěn nejnižší výnos čerstvé hmoty při meziřádkové vzdálenosti 75 cm, u odrůdy Goliath při meziřádkové vzdálenosti 75 cm a u odrůdy Sucrosorgho při 50 cm. Ze všech odrůd vyprodukovala nejméně čerstvé hmoty odrůda Bovital. Nejvyšší výnos byl u Sucrosorgha při meziřádkové vzdálenosti 25 cm a také tato varianta byla nejvýnosnější v daném roce v porovnání s ostatními odrůdami.

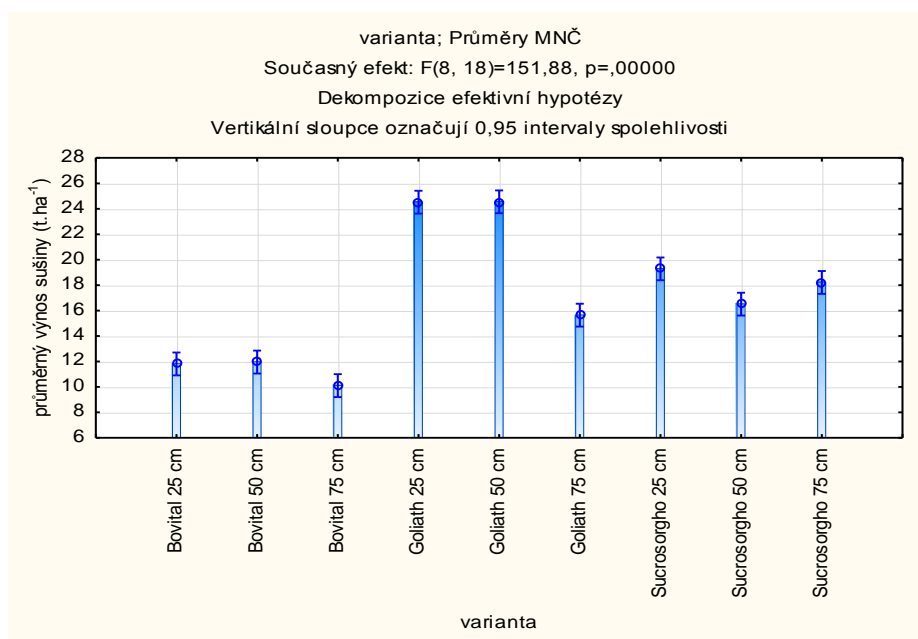
Graf 16: Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos čerstvé hmoty



Statisticky prokazatelné nižší výnosy sušiny jsou u odrůdy Bovital při meziřádkové vzdálenosti 75 cm, Goliath při 75 cm a u Sucosorgha 75 cm. Největší výnos sušiny ze zkoušených odrůd je u Goliath při meziřádkové vzdálenosti 25 a 50 cm.

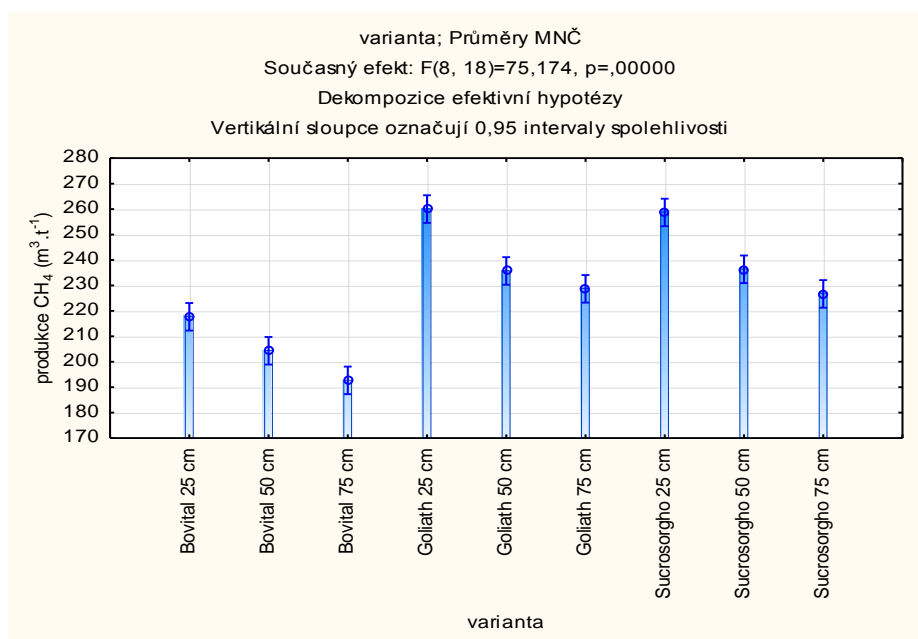


Graf 17: Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos sušiny



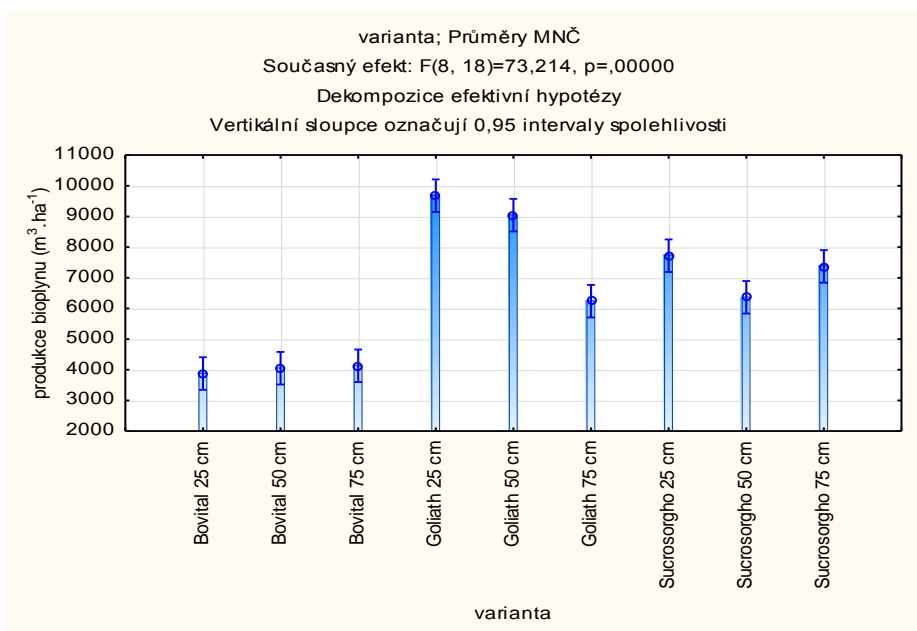
Po vyhodnocení výsledků bylo zjištěno, že s rostoucí meziřádkovou vzdáleností klesá produkce methanu ze sušiny, i když to není zcela statisticky průkazné. Je statisticky průkazné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ , že všechny odrůdy měly největší produkci methanu při meziřádkové vzdálenosti 25 cm. Největší produkce ze všech variant je u odrůdy Goliath a Sucrosorgho při meziřádkové vzdálenosti 25 cm.

Graf 18: Vliv meziřádkové vzdálenosti na produkci methanu ze sušiny



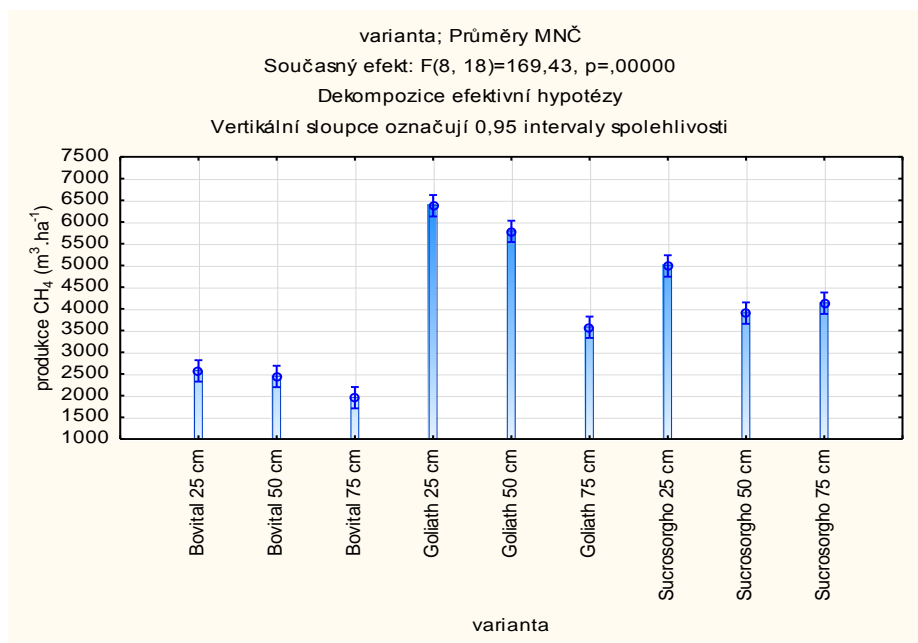
U produkce bioplynu, je statisticky průkazné, že u odrůdy Goliath je nejmenší produkce bioplynu při meziřádkové vzdálenosti 75 cm a u odrůdy Sucrosorgho při 50 cm.

Graf 19: Vliv meziřádkové vzdálenosti na produkci bioplynu z plochy



Ze sledovaných odrůd má odrůda Bovital nejmenší produkci methanu z hektaru. Nejnižší produkce u varianty s meziřádkovou vzdáleností 75 cm. Odrůda Goliath má statisticky průkaznou nejvyšší produkci methanu na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  při meziřádkové vzdálenosti 25 cm, tato varianta byla nejproduktivnější ze sledovaných odrůd. Odrůda Sucrosorgho měla vyšší produkci methanu při meziřádkové vzdálenosti 25 cm.

Graf 20: Vliv meziřádkové vzdálenosti na produkci methanu z plochy

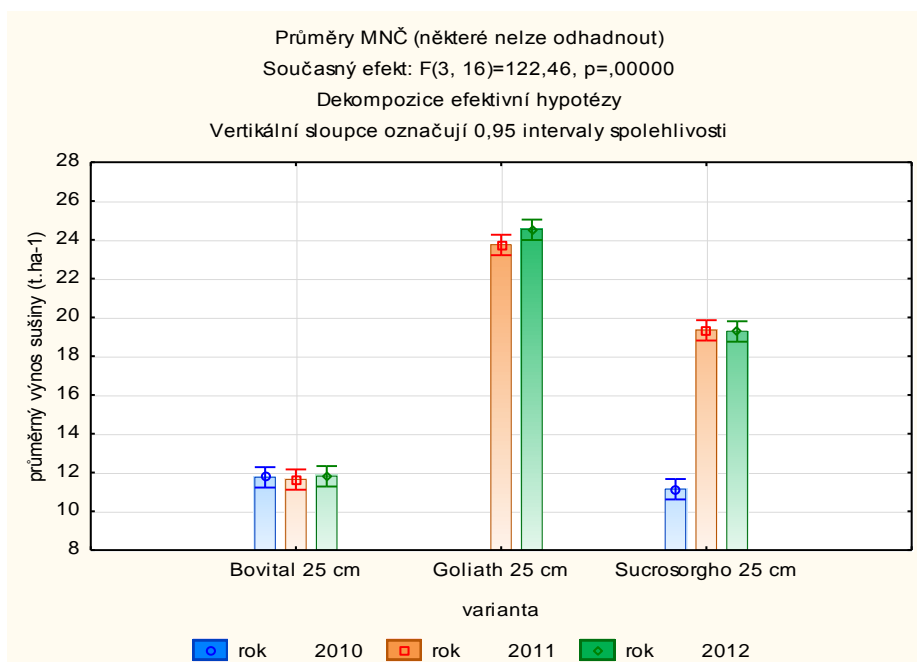


V roce 2012 byly hodnoceny tři hybridy široku cukrového (Bovital, Goliath a Sucrosorgho) na pokusných pozemcích v Červeném Újezdě. Byl posuzován vliv meziřádkové vzdálenosti na produkční ukazatele. Rostliny byly sklizeny 4.10.2012. Sušina v rostlinách se pohybovala mezi 25 – 32 %. Odrůda Goliath vykazovala vyšší obsah sušiny v porovnání s ostatními hybridy. Největší výnos čerstvé hmoty byl u odrůdy Sucrosorgho při 25 cm, ale kvůli nižšímu obsahu sušiny nevyprodukoval víc sušiny z hektaru než odrůda Goliath při 25 a 50 cm meziřádkové vzdálenosti. Mezi těmito dvěma variantami nebyl statisticky průkazný rozdíl. Nejmenší produkce zelené hmoty a sušiny byla zaznamenána u odrůdy Bovital a nejslabší byla varianta s meziřádkovou vzdáleností 75 cm. Nejsledovanější faktor pro výrobce bioplynu je produkce methanu z plochy. Největší produkce methanu byla u odrůdy Goliath při 25 cm ze všech odrůd a variant. Tato varianta měla průměrnou produkci methanu 6375 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. Druhá největší produkce byla u Goliath na 50 cm s průměrnou produkcí methanu 5786 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. Třetí největší produkce byla u Sucrosorgha při 25 cm s průměrnou produkcí methanu 4985 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>. Nejmenší produkce methanu byla u odrůdy Bovital při 75 cm, zde byla produkce 1945 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup> methanu. V roce 2012 byly vyhodnoceny jako vhodné odrůdy Goliath a Sucrosorgho. U odrůdy Goliath je optimální meziřádková vzdálenost 25 a 50 cm a u Sucrosorgha 25 cm. Méně vhodná odrůda je Bovital. U odrůdy Bovital byly vyhodnoceny v daném roce jako vhodnější meziřádkové vzdálenosti 25 a 50 cm. V roce 2012 se osvědčily užší meziřádkové vzdálenosti (25 a 50 cm) než meziřádková vzdálenost 75 cm.

#### **5.1.4 Vliv ročníku na produkční ukazatele**

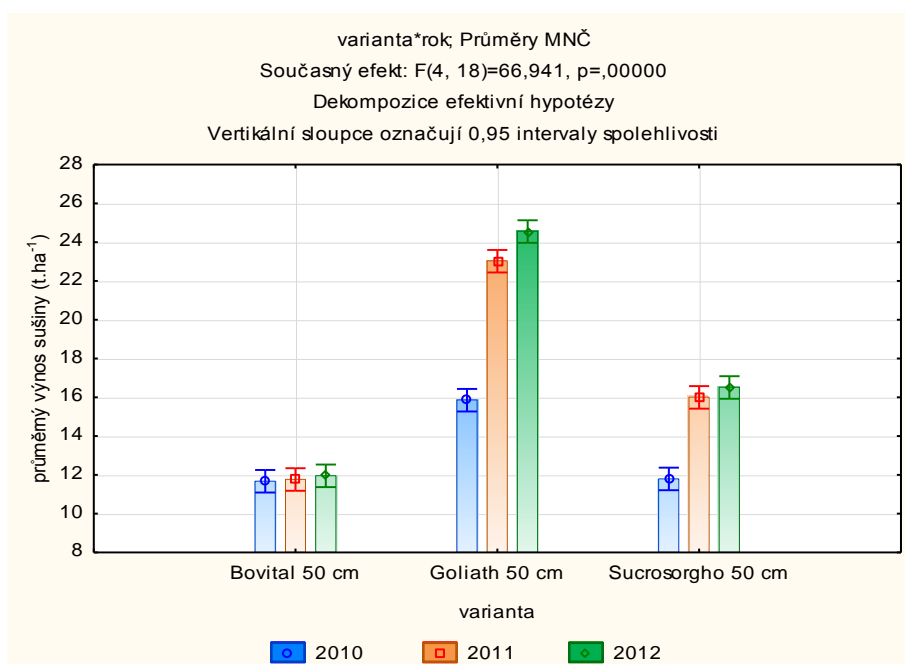
Vliv ročníku u odrůdy Bovital a Goliath není statisticky průkazný. U odrůdy Sucrosorgho není statistický rozdíl mezi lety 2011 a 2012, ale je statistický rozdíl pokud porovnáme tyto dva roky s rokem 2010. V roce 2010 je statistický průkazný pokles výnosu sušiny na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ .

Graf 21: Vliv ročníku na výnos sušiny při meziřádkové vzdálenosti 25 cm



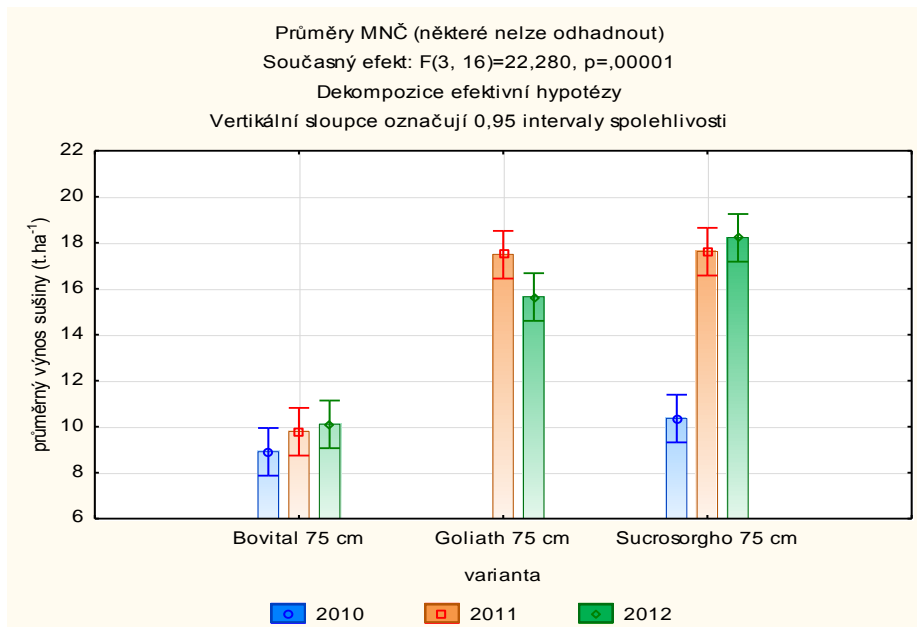
U odrůdy Bovital není statistický rozdíl ve vlivu ročníku na výnos sušiny. U odrůdy Goliath je statistický rozdíl na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  v jednotlivých letech, v roce 2010 byl zjištěn nejmenší výnos sušiny a v roce 2012 byl výnos největší. U odrůdy Sucrosorgho je v roce 2010 nejmenší výnos v porovnání s lety 2011 a 2012.

Graf 22: Vliv ročníku na výnos sušiny při meziřádkové vzdálenosti 50 cm



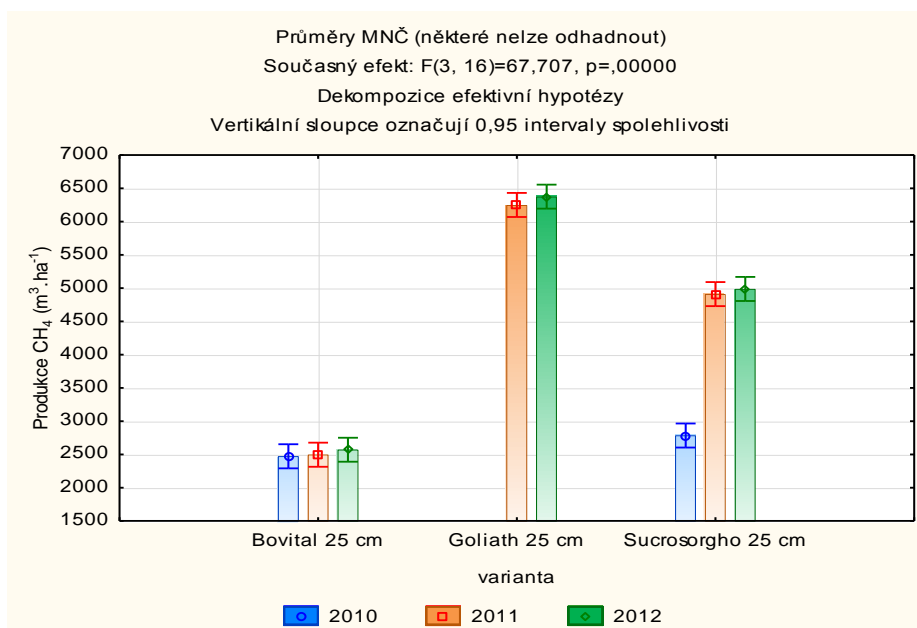
U odrůdy Bovital a Goliath není statisticky průkazný rozdíl mezi jednotlivými lety v produkci sušiny. U odrůdy Sucrosorgho je rozdíl mezi jednotlivými lety. V roce 2010 je nižší výnos sušiny a je statisticky průkazný s lety 2011 a 2012.

Graf 23: Vliv ročníku na výnos sušiny při meziřádkové vzdálenosti 75 cm



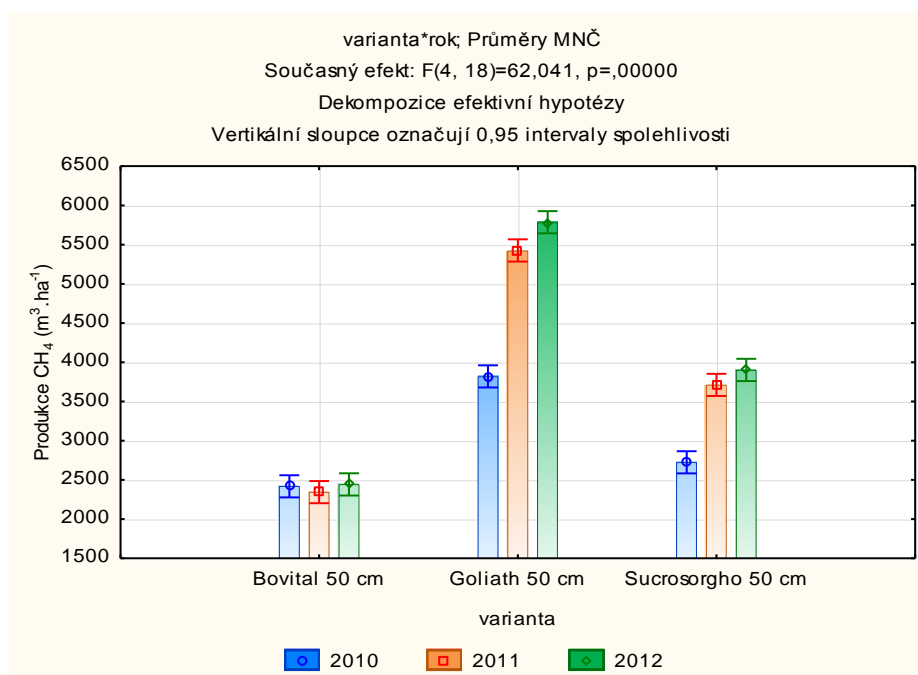
U odrůdy Bovital a Goliath není statisticky průkazný rozdíl mezi jednotlivými lety v produkci methanu. U odrůdy Sucrosorgho není statistický rozdíl mezi lety 2011 a 2012, je však statisticky průkazný rozdíl mezi těmito dvěma lety a rokem 2010, zde byla produkce nižší.

Graf 24: Vliv ročníku na produkci methanu při meziřádkové vzdálenosti 25 cm



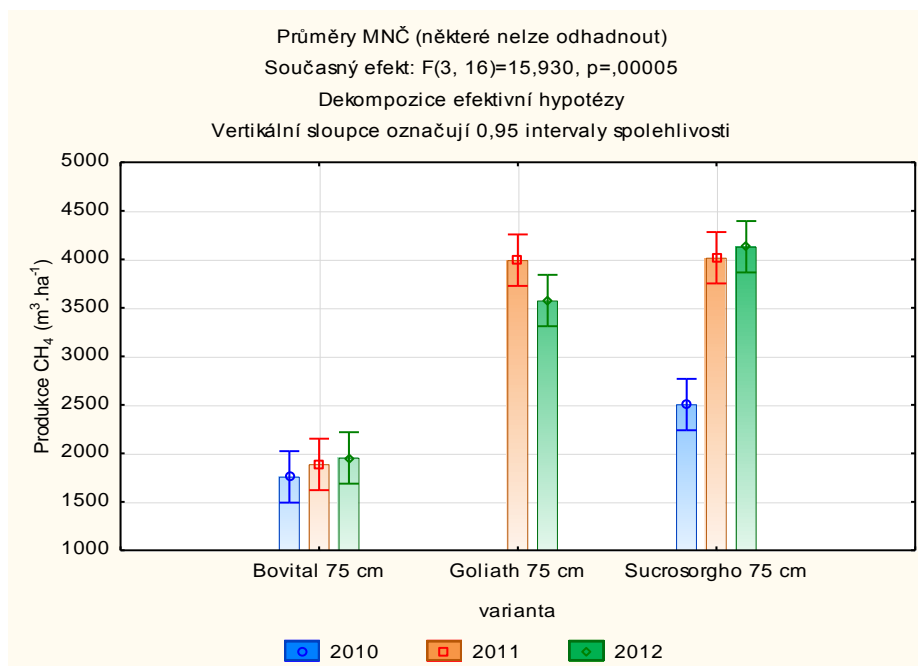
U odrůdy Bovital není statisticky průkazný rozdíl mezi jednotlivými lety. U odrůdy Goliath je statistický rozdíl mezi jednotlivými lety. Nejnižší produkce byla zaznamenána v roce 2010 a nejvyšší v roce 2012. U odrůdy Sucrosorgho je pouze statisticky průkazný rozdíl v roce 2010 v porovnání s lety 2011 a 2012. Rok 2010 byla nejnižší produkce methanu u odrůdy Sucrosorgho.

Graf 25: Vliv ročníku na produkci methanu při meziřádkové vzdálenosti 50 cm



U odrůd Bovital a Goliath není statistický rozdíl mezi jednotlivými ročníky. U odrůdy Sucrosorgho je statisticky průkazný rozdíl v roce 2010, ten byl nejméně příznivý ze sledovaných let.

Graf 26: Vliv ročníku na produkci methanu při meziřádkové vzdálenosti 75 cm



Vliv ročníku na výnos sušiny nebyl prokázán u odrůdy Bovital ani u jedné meziřádkové vzdálenosti. Vliv ročníku se projevil u odrůdy Goliath a Sucrosorgho. U odrůdy Goliath je vliv ročníku pouze u varianty při meziřádkové vzdálenosti 50 cm, zde jsou statisticky průkazné rozdíly ve všech letech. U odrůdy Sucrosorgho nejsou statistický rozdíly v letech 2011 a 2012, ale je zde statistický rozdíl v roce 2010 u všech meziřádkových vzdáleností, odrůda v tomto roce vykazuje nejmenší výnos sušiny.

Vliv ročníku na výnos methanu z plochy není statisticky průkazný u odrůdy Bovital při žádné meziřádkové vzdálenosti. U odrůdy Goliath není statisticky průkazný rozdíl při meziřádkových vzdálenostech 25 a 75 cm. U meziřádkové vzdálenosti 50 cm je rozdíl mezi jednotlivými lety. Nejméně příznivý byl rok 2010 a příznivější byl 2012. U odrůdy je statisticky průkazný rozdíl v roce 2010, zde je nižší produkce methanu v porovnání s ostatními roky při všech meziřádkových vzdálenostech.



## 6 DISKUZE

V roce 2010, 2011 a 2012 byl proveden pokus s třemi hybridy čiroku cukrového. Hybridy byly vysety do třech meziřádkových vzdáleností (25, 50 a 75 cm) a byl sledován vliv hustoty porostu na produkční ukazatele. Sklizeň porostu proběhla ve všech letech 4. října v časně voskové zralosti (BBCH 83).

Z pozorovaných ročníků byl nejvyšší průměrný výnos sušiny v roce 2012 u odrůdy Goliath při meziřádkové vzdálenosti 50 cm, výnos byl 24,55 t.ha<sup>-1</sup>. Odrůda Goliath ve všech letech prokázala nejvyšší výnos sušiny při meziřádkové vzdálenosti 25 a 50 cm v porovnání s ostatními odrůdami. Firma KWS uvádí odrůdu Goliath jako nejranější čirok na trhu, který má intenzivní nárůst biomasy. Zde se prokázalo tvrzení Stuchlíka (1951), rané odrůdy čiroku cukrového s kratším vegetačním obdobím vytváří v rané fázi značné množství sušiny a mají vysoký obsah sušiny v biomase. Odrůda Goliath měla v letech 2011 a 2012 nejvyšší obsah sušiny oproti ostatním odrůdám. Nejnižší výnos sušiny byl zjištěn v roce 2010 u Bovitalu s meziřádkovou vzdáleností 75 cm, průměrný výnos byl 8,91 t.ha<sup>-1</sup>. Potvrdilo se tvrzení Petříkové (2004), výnos sušiny čiroku cukrového může být velmi variabilní od 8 do 20 t.ha<sup>-1</sup> v závislosti na odrůdě.

Potvrdilo se tvrzení Hodovala, Pulkrábka (2012), čirok cukrový má vysoký potenciál produkce zelené hmoty. V pokusu u odrůdy Goliath bylo v roce 2010 dosaženo průměrného výnosu 87,59 t.ha<sup>-1</sup> s obsahem sušiny 18 %, v roce 2012 při meziřádkové vzdálenosti 50 cm byl naměřen průměrný výnos 79,67 t.ha<sup>-1</sup> s obsahem sušiny 30,82 %.

Jančovič et al. (2005) uvádí, že pro každou odrůdu je vhodná jiná meziřádková vzdálenost pro výnos biomasy. Toto tvrzení se potvrdilo. U vybraných pokusných odrůd byl hodnocen vliv meziřádkové vzdálenosti, porost byl založen při meziřádkové vzdálenosti 25, 50 a 75 cm. U odrůdy Bovital bylo zjištěno v tříletém pokusu, že pro výnos sušiny a produkci methanu je znatelný pokles při meziřádkové vzdálenosti 75 cm. Odrůda Goliath produkovala nejvíce sušiny a methanu při meziřádkové vzdálenosti 25 a 50 cm, jako méně vhodná je meziřádková vzdálenost 75 cm. U odrůdy Sucrosorgho byly největší výnosy sušiny a methanu v roce 2011 a 2012 při meziřádkové vzdálenosti 25 cm. Nižší výnosy byly zaznamenány u varianty 50 cm. Částečně se potvrzuje tvrzení Petříkové (2004), že porosty čiroků pro energetické účely je vhodné vysévat do řádků širokých 20 – 30 cm. U některých hybridů je dobré zakládat také do meziřádkových vzdáleností 50 cm. V našich pokusech se spíše jeví užší řádky jako vhodnější pro produkci methanu. Rostlinný materiál produkoval více methanu

z tuny sušiny při užších meziřádkových vzdálenostech. To bude asi způsobené tím, že při užší meziřádkové vzdálenosti klesá obsah ligninu v rostlinách (Hodoval, Pulkrábek, 2012). Lignin je podíl rostliny, který je obtížně fermentovaný a klesá i degradovatelnost vlákniny (Kára et al., 2007; Hermuth et al., 2011).

**Po zhodnocení výsledků byla potvrzena Hypotéza 2 „reakce hybridů čiroku cukrového na meziřádkovou vzdálenost je rozdílná“.**

Tvrzení Petříkové et al. (2006), že rostliny čiroku cukrového dosahují v našich podmínkách výšky rostliny až tři metrů i více se také potvrdilo. Rostliny na pokusných parcelkách dosahovaly výšky okolo 3 metrů.

Potvrdilo se tvrzení, že čiroky mají nižší výtěžek methanu a bioplynu ve srovnání s kukuřicí asi tak o 6 – 16 % (Hermuth et al., 2012). Klimiuk et al. (2010) dokonce uvádí menší výtěžnost o 15 až 20 %. V našich pokusech byl největší výtěžek methanu z tuny sušiny u odrůdy Goliath při meziřádkové vzdálenosti 25 cm v roce 2011, výtěžek byl 263 m<sup>3</sup> methanu. Kára et al. (2007) uvádí průměrný výtěžek bioplynu z tuny sušiny kukuřice 586,1 m<sup>3</sup> s obsahem methanu 52,2 %, po přepočítání to je 306 m<sup>3</sup> methanu. Čirok tedy produkuje o 16 % méně methanu ze sušiny než kukuřice.

V závislosti na druhu fermentovaného materiálu, je obsah methanu v bioplynu zastoupen v rozmezí 50 – 75 % (Havlíčková et al., 2008). Závisí na fyzikálních a chemických vlastnostech fermentovaného materiálu (Straka et al., 2006). Tvrzení se potvrdilo, všechny pokusné varianty toto rozmezí splňují. U sledovaných odrůd se pohyboval obsah methanu v bioplynu v rozmezí od 47 do 68 % (tabulka 19). Hodnoty obsahu methanu do 50 % byly zaznamenány u odrůdy Bovital při meziřádkové vzdálenosti 75 cm v letech 2011 a 2012.

Weiland (2001) uvádí tyto důvody, proč je využívána kukuřice pro bioplynové stanice. Kukuřice má vysoké výnosy zelené hmoty, která má vysoký výtěžek bioplynu z ha. Výtěžek bioplynu může být 5250 – 7000 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Hermuth et al. (2012) uvádí výnos methanu z kukuřice 1700 – 7000 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. V tab. 19 jsou uvedeny průměrné výnosy bioplynu a methanu z našeho pokusu v Červeném Újezdě. Nejvyšší produkce bioplynu ve sledovaných třech letech byla v roce 2012 u odrůdy Goliath při meziřádkové vzdálenosti 25 cm. Odrůda vyprodukovala na jeden hektar 9660 m<sup>3</sup> bioplynu. To je o 2660 m<sup>3</sup> bioplynu více než autoři uvádí u kukuřice. Čirok cukrový je vhodnou alternativou za kukuřici pro výrobu bioplynu. **Tím se potvrzuje Hypotéza 1 „kvalita biomasy a výše výnosu sušiny čiroku cukrového je využitelná na produkci bioplynu“.**

Dalším pozitivem čiroku cukrového v porovnání s kukuřicí je větší odolnost vůči suchu. V suchých oblastech ČR může představovat alternativu za kukuřicí (Hermuth et al., 2011; Petříková et al., 2004; Bolsen et al., 2003; Hodoval, Pulkrábek 2012). Čírok bude také vhodnou alternativní plodinou za kukuřicí v oblastech, kde jsou velké početní stavy černé zvěře (prasete divokého). Po sklizni většiny pěstovaných plodin (pšenice, ječmen, řepka, hrách atd.) zbývá většinou na polích už pouze kukuřice. Kukuřice je tedy velkým lákadlem pro zvěř a ta může v porostech způsobovat škody až v řádech desítek procent, jsou dokonce lokality, kde jsou škody i 20 – 30 % i více. Takové škody na porostu mohou způsobit velké finanční ztráty, jak pro samotného zemědělce tak i myslivce, kteří v daném místě vykonávají právo myslivosti. Na pozemku zůstává ležet spousta poškozených rostlin, které nemohou sklízecí stroje sklídit a to přispívá k přenosu houbových a hmyzích škůdců do následujících let. Hermuth et al. (2012) uvádí, u čiroku škody černou zvěří nejsou téměř žádné. To mohu také potvrdit vlastní zkušeností, kdy jsme při sklizních čiroků nezaznamenali žádné škody na porostu.

Čiroky lze dobře pěstovat i v úzkých řádcích, to by mohlo mít méně negativních dopadů na vodní erozi v porovnání s pěstováním kukuřice. Tento fakt není zcela probádán a bylo by zapotřebí se touto problematikou zabývat v dalších výzkumech. Např. Hermuth et al. (2012) píše, v USA se u čiroků uvádí o třetinu až polovinu nižší erozní koeficient než u kukuřice. Hodoval, Pulkrábek (2012) se domnívají, že kombinace ozimého žita sklizeného na jaře na siláž, následné mělké kypření a výsev čiroku do úzkých řádků, by mělo splňovat přísné podmínky pro zařazení této technologie mezi vyjmenované půdoochranné technologie na erozně ohrožených plochách.

Někteří autoři a producenti osiv čiroků doporučují zasilážovat namíchanou řezanku čiroků a kukuřice. Problémem je, že při sklizni kukuřice na siláž nemá čírok cukrový optimální obsah sušiny, obsah bývá nižší než bychom potřebovali. Záleží velmi na zkušenostech pěstitele, aby zvolil vhodné hybridy kukuřice a čiroku, které by měly v období sklizně optimální sušinu. Já bych spíše volil silážovat samotný čírok nebo kukuřici z důvodu jednoduchosti a hlavně optimální sklizňové kvality materiálu.

## 7 ZÁVĚR

Cílem práce bylo shrnout poznatky o pěstování a možnostech využití čiroku cukrového k produkci biomasy vhodné pro výrobu bioplynu.

V ČR přibývá bioplynových stanic, tím rostou plochy s kukuřicí, protože je nejčastějším rostlinným materiálem pro výrobu bioplynu. Je zapotřebí najít nějakou alternativní plodinu za kukuřici, která by poskytovala dostatečný výnos kvalitní hmoty pro bioplynové stanice.

Pokusy s čírokiem cukrovým byly založeny v letech 2010, 2011 a 2012 na pozemcích Výzkumné stanice v Červeném Újezdě. Výzkumná stanice se nachází v řepařské výrobní oblasti. V pokusu byly porovnávány hybridy čiroku cukrového Bovital od firmy SAATEN – UNION, Sucrosorgho 506 od firmy Syngenta Czech a Goliath-Biomass 133 od firmy Saatbau Linz. Porosty hybridů byly zakládány při meziřádkové vzdálenosti 25, 50 a 75 cm. Maloparcelkové pokusy byly založeny ve třech opakováních o velikosti pokusných parcelek 12 m<sup>2</sup>.

Na pokusném poli lze doporučit pěstovat odrůdu Goliath při meziřádkové vzdálenosti 25 a 50 cm, Zerberus při meziřádkové vzdálenosti 25 cm. Tyto varianty produkovaly nejvíce methanu z jednotky plochy. Nejvyšší produkce byla zaznamenána ze sledovaných let u hybridu Goliath při meziřádkové vzdálenosti 25 cm v roce 2012, průměrný výtěžek methanu činil 6375 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, produkce bioplynu byla 9659 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. U hybridu Sucrosorgho byla největší produkce zaznamenána v roce 2012 při meziřádkové vzdálenosti 25 cm, průměrná produkce methanu byla 4984 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, průměrná produkce bioplynu byla 7708 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. Goliath vyprodukoval o 1391 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> více methanu než Sucrosorgho. U odrůd se více osvědčily úzké meziřádkové vzdálenosti (25 a 50 cm), u těchto variant odrůdy vyprodukovaly nejvíce methanu z plochy, zde nastává prostor v řešení problematiky, zda úzké meziřádkové vzdálenosti mají méně negativní dopad na vodní erozi půdy, tím by mohl být čirok pěstován na svažitéjších pozemcích, kde kukuřice nesmí být pěstována. Byla potvrzena Hypotéza 2 „reakce hybridů čiroku cukrového na meziřádkovou vzdálenost je rozdílná“.

Po vyhodnocení výnosů methanu a bioplynu čiroku cukrového a porovnání s literaturou, lze konstatovat, že čirok je vhodnou alternativní plodinou za kukuřici pro bioplynové stanice. Potvrdila se hypotéza 1 „kvalita biomasy a výše výnosu sušiny čiroku cukrového je využitelná na produkci bioplynu“. Čiroky mají v porovnání s kukuřicí spousty pozitivních stránek.

## 8 SEZNAM LITERATURY

- Almodares, A., Hadi, M.R. 2009. Production of bioethanol from sweet sorghum: A review, *Afrikan Journal of Agricultural Research*, 4 (9). 772-780
- Anonym. 2013. *Sorghum* Growth Stage Development. [cit. 2013-01-10]. Dostupné z <<http://weedsoft.unl.edu/documents/GrowthStagesModule/Sorghum/Sorg.htm>>
- Barabás, Z., Bányai, L. 1985. *Sorghum bicolor* (L.), MOENCH, S. sudaneuse (PIPER) STAPF. Akadémiai Kiadó. Budapest. 180 s.
- Benda, V., Doležalová, H., Dušička, P., Hanslian, D., Jevič, P., Matuška, T., Myslil, V., Pastorek, Z., Stupavský, V., Šejvl, R., Šrefl, J., Šulek, P. 2012. *Obnovitelné zdroje energie*. ProfiPress. Praha. p. 208. ISBN: 9788086726489
- Bolsen, K. K., Moore, K. J., Coblenz, W. K., Siefers, M. K., White, J. S. 2003. Sorghum silage. In: *Silage science and technology*. American Society of Agronomy Inc., Crop Science Society of America Inc, Soil Science Society of America. 609 – 632
- Bonardi, P., Lorenzoni C., Amaducci, S. 2007. *Sorghum* may overtake maize for bioga production. *Informatore Agrario* 63 (13). 37 - 40
- Brandejsová, E., Příbyla, Z. 2009. *Bioplynové stanice (Zásady zřizování a provozu plynového hospodářství)*. GAS. Praha. 118 s. ISBN: 978-80-7328-228-8
- Cenek, M., et al. 2001. *Obnovitelné zdroje energie*. FCC Public. Praha. p. 207. ISBN: 8090198589
- Constatnt, M., Naveau, H., Ferrero, G.L., Nyns, E.J. 1989. *Biogas, end-use in the European Community*. Elsevier Applied Science. United Kingdom. 360 s.
- Dohányos, M., Zábranská, J., Procházka, J. 2008. Intenzifikace výroby bioplynu – předpoklady a praktické zkušenosti. In: *Sborník konference. Výstavba provoz bioplynových stanic, Třeboň 9. – 10. října 2008*: 83-88
- Esechie, H.A. 1994. Interaction of salinity and temperature on the germination of sorghum, *JOURNAL OF AGRONOMY AND CROP SCIENCE – ZEITSCHRIFT FUR ACKER UND PFLANZENBAU*. s. 194 – 199
- FAO. 2012. Production database. Faostat.org [cit. 2012-12-12] Dostupné z: <<http://www.faostat.fao.org/site/291/default.aspx>>

- Gauchau, M., Honermeier, B. 2010. Evaluierung eines Sortimentes von Sorghum (*S. bicolor*, *S. sudanense*) zur Biogasgewinnung. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss (22). p. 109 - 110
- Gerhardt, M., Pelenc, V., Baumel, M. 2007. Application of hydrolytic enzymes in the agricultural biogas production: Results from practical applications in Germany. Biotechnology Journal, 2 (12), p. 1481 – 1484
- Havlíčková, K., Weger, J., Boháč, J., Štěrba, Z., Hutla, P., Knápe, J., Vašíček, J., Strašil, Z., Kajan, M., Lhotský, R. 2008. Rostlinná biomasa jako zdroj energie. Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví. Pelhřimov. p. 83. ISBN: 9788074150043
- Hayward, H.E., Bernstein, L. 1958. Plant growth relationships on salt affected soils. Bot.Rev. 24. NA.
- Hermuth, J. 2010. Čirok – znovu vzkříšená plodina v ČR. Agromanuál (5), p. 62 – 65
- Hermuth, J. et al. 2011. Kvalita biomasy zkoušených odrůd čiroku. Úroda 59 (12), p. 55 - 58
- Hermuth, J., Janovská, D., Strašil, Z., Ust'ák, S., Hýsek, J. 2012. Čirok obecný *Sorghum bicolor* (L.) Moench, možnosti využití v podmínkách ČR. VÚRV. Praha. p. 47. ISBN: 9788074270932
- Hodoval, J., Pulkrábek, J., Urban, J. 2012. Čirok (5) – možnosti agrotechniky čiroku cukrového. Agromanuál (4). p. 88 – 89
- Hodoval, J., Pulkrábek, J. 2012. Nepotravinářské využití čiroku cukrového v podmínkách ČR. Úroda (10). p. 51 - 54
- House, L.R. 1985. A Guide to Sorghum Breeding. ICRISAT. (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics) Patancheru, Andhra Pradesh, India
- Jambunathan, R., Subramainian, V. 1997. Grain quality and utilisation of sorghum and pearl millet. Biotechnology workshop. Pantacheru. India. Pantacheru ICRISAT. s. 133 – 139
- Jančovič, J., Ďurková, E., Vozár, Ľ. 2005. Krmoviny I. (Pestovanie poľných krmovín). ÚVTIP – NOI. Nitra. 100 s. ISBN: 8089088406
- Kára, J., Strašil, Z., Hutla, P., Ust'ák, S. 2005. Energetické rostliny, technologie pro pěstování a využití. Výzkumný ústav zemědělské techniky. Praha. p. 80. ISBN: 8086884066
- Kára, J., Pastorek, Z., Příbyl, E. 2007. Výroba a využití bioplynu v zemědělství. VÚZT. Praha. p. 120. ISBN: 9788086884288
- Kazda, J., Mikulka, J., Prokinová, E. 2010. Encyklopedie ochrany rostlin. ProfiPress. Praha. p. 399. ISBN: 9788086726342

- Klimiuk, E., Pokoj, T., Budzynski, W., Dubis, B. 2010. Theoretical and observed biogas production from plant biomass of different fibre contents. *Bioresource Technology*. 101
- Kouda et al. 2008. Bioplynové stanice s mokrým procesem. ČKAIT. Praha. 120 s. ISBN: 9788087093337
- KWS. 2011. Sorghum Anbauplaner. p. 53 - 55
- László, T. K. 1947. Fa és cirok cukor. Egyetemi Nyomda. Budapest 1947
- Martin, J. H. 1940. The Culture and Use of Sorghum for Forage. *Farmer's bulletin* No. 1844.
- Martin, J. H., MacMaster, M. M. 1952. Industrial uses for grain sorghum. *USDA Yearbook* 1950 – 51. p. 349 - 352
- Martin, J. H., Waldren, R. P., Stamp, D. L. 2006. *Principles of Field Crop Production*. Upper Saddle River. New Jersey Columbus. Ohio. 954
- Mitterleitner, H. 1999. Energetische Nutzung von Biogas unter Berücksichtigung der Verstromung mit Lundstrahl – und Gasmotoren, *Forschung Institut für Landtechnik – sdělení autora*. 1999. Weihestepha. Německo
- Moudrý, J., Stražil, Z. 1998. Energetické plodiny v ekologickém zemědělství. *VH press, Spolek poradců v ekologickém zemědělství*. Hradec Králové. 56 s. ISBN: neuvedeno
- Moudrý, J., Stražil, Z. (1999): Pěstování alternativních plodin (učební texty). Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta. České Budějovice. p. 162. ISBN: 9788070403839
- Mosse, J., Huet, J. C., Baudet, J. 1988. The Amino Acid Composition of Whole Sorghum Grain in Relation to Its Nitrogen Content *Cereal. Chem.* 65(4). 271 - 277
- Využití biomasy k energetickým účelům. *FCC Public*. Praha. s. 139 – 161
- Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P. 2004. *Biomasa obnovitelný zdroj energie*. 1. Vydání. *FCC Public*. Praha. 288 s. ISBN: 8086534065
- Petr., J., Húska, J. a kol. (1997): Speciální produkce rostlinná – I. (Obecná část, obilniny). Praha, *Agronomická fakulta ČZU v Praze, katedra rostlinné výroby*. p. 175 – 182. ISBN: 8021301522
- Petr, J., Michalík, I., Tlaskalová – Hogenová, H., Capouchová, I., Faměra, O., Urminská, D., Tučková, L., Knoblochová, H. 2003. The utilisation of grain sorghum (*Sorghum bicolor moench*) and sweet sorghum (*Sorghum saccharatum* L. Moench, var. *saccharatum*) for gluten – free diet in coeliac disease. *Scientia Agriculturae Bohemica* 34 (1). s. 8 – 15
- Petříková, V. 2004. Pěstování rostlin pro energetické účely. *Neoset*. Praha. 32 s. ISBN: 8023954970

- Petříková, V., Sladký, V., Stražil, Z., Šafařík, M., Ust'ak, S., Váňa, J. 2006. Energetické plodiny. 1. vydání. Profi Press. Praha. 127 s. ISBN: 80-86726-13-4
- Podrábský, M. 2008. Nový hybrid čiroku se súdánkou trávou. Agromanuál (3). 36 – 37
- Profeld, R., Jochová, E., Jelínek, V., Šanta, M., Grunwald, V., Rohlíková, E., Straka, F., Cihotný, K., Brandejsová, E., Příbyla, Z. 2008. Informační servis GAS – Bioplyn. InfoGas.
- Quschning, V. 2008. Erneuerbare Energien und Klimaschutz. Carl Hanser Verlag. Munich/FRG. 333 s. ISBN: 9783446419612
- Rajki-Siklósi, E. 2003. Grain sorghum and silage sorghum breeding objectives. XVI. Maize and Sorghum Eucarpia Cronf.. Bergamo. p. 173 – 188
- Ratanavathi, C.V, Biswass, P.K, Pallavi, M., Maheswari, M., Vijay Kumar, B.S., Seetharama N. 2004. Alternative Use of Sorghum – Methods and Feasibility : Indian Perspective. CFC and ICRISAT. India. 361 s.
- Rooney, W., Serna-Saldivar, S. 2003. Food use of whole corn and dry-milled fractions. In: Corn Chemistry and Technology. White, P.J. and Johnson. Lawrence A. (eds.), American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN. 495 - 535
- Sanderson, M.A., Jones, R.M., Ward, J., Wolfe, R. 1992. Silage sorghum performance trial and Stephenville. Forage Research in Texas. Report PR-5018. Texas Agric. Exp. Stn.. Stephenville
- Scarpini, A. 1988. Anaerobic digestion units for biogas production – technical principles and economic evaluations. Roma. Itálie. ISBN: neuvedeno
- Schulz, H., Eder, B. 2004. Bioplyn v praxi. 1. vydání. HEL. Ostrava. p. 168. ISBN: 8086167216
- Schweigkogler, M., Niessner, R. 2001. Removal of siloxanes in biogases. Journal of Hazardous Materials B83. s. 183 - 196
- Singh, Faujdar, Rai, K.N., Reddy, Belum V.S., Diwakar, B. (eds.). 1997. Development of cultivars and seed production techniques in sorghum and pearl millet. Training manual. Training and Fellowships Program and Genetic Enhancement Division, ICRISAT Asia Center, India. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 118 pp.
- Sladký, V., Dvořák, J., Andert, D. 2002. Obnovitelné zdroje energie – fytopaliva. VÚZT. Praha. p. 130. ISBN: 8023899525



- Soukup, J., Jursík, M., Venclová, V., Neckář, K. 2006. Výběr herbicidů a časování ochrany v kukuřici. *Úroda* 53 (4). 19-22.
- Straka, F., Dohányos, M., Zábranská, J., Jeníček, P., Dědek J., Malijevský, A., Novák, J., Oldřich, J., Kunčarová, M. 2006. Bioplyn – příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů. GAS. Praha. 706 s. ISBN 8073280906
- Straka, F., Ciahotný, K., et al. 2010. Bioplyn - příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů. GAS. Praha. p. 305. ISBN: 9788073282356
- Stuchlík, V. 1951. O čiroku cukrovém a jeho využití v průmyslové výrobě. Brázda, nakladatelství Jednotného svazu českých zemědělců. Praha. 74 s. ISBN: neuvedeno
- Špaldon, E., et al. 1954. Teplomilné a špeciálne rastliny. Štátne podohospodárske nakladateľstvo. Bratislava. p. 321. ISBN: neuvedeno
- Špaldon et al. 1963. Rostlinná výroba I. SZN. Praha. ISBN: neuvedeno
- Špaldon, E., et al. 1982. Rostlinná výroba. SZN. Praha. 714 s. ISBN: neuvedeno
- Tiemann, A., Kaempffer, E. 1941. Die Hirsens, Reichsnährstand. Gesellschaft. Berlin. 66 s.
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2007. Výživa polních a zahradních plodin. ProfiPress. Praha. p. 167. ISBN: 9768086726250
- Vinall, H. et al. 1936. Identification, History, and Distribution of Common Sorghum Varieties. U. S. D. of Agriculture, Technical Bulletin No. 506. 102s.
- Weiland, P., 2001. Stand und Perspektiven der Biogasnutzung und –erzeugung in Deutschland. In: Fachagentur Nachwachsender Rohstoffe e.V., Gülzow (Ed.) Energetische Nutzung von Biogas: Stand der Technik und Optimierungspotential. Gülzower Fachgespräche. Band 15. FNR Gülzow. s. 8–27.
- Weiland, P., 2006. Biomass digestion in Agriculture: A Successful Pathway for Energy Production and Waste Treatment in Germany. *Engineering in Life Science*, 6 (3), p. 302 – 309
- Zacharda, F., Pepich, Š., Gaduš, J., Piszczalka, J. 2009. Biomasa, jej potenciál a reálne možnosti využitia na Slovensku. Agroinštitút Nitra. p. 76. ISBN: 9788071391333
- Zeller, F. J. 2000. Sorghumhirse (Sorghum bicolor L. Moench). *Nutzung, Genetik, Zuchtung. Die bodenkultur* 51. p. 71 – 85
- 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

- Zimolka, J., Balounová, M., Cerkal, R., Červinka, J., Doležal, P. et al. 2008. Kukuřice – hlavní a alternativní užitkové směry. ProfiPress. Praha. p. 200. ISBN: 9788086726311
- Zimolka, J., Podrábský, M. 2012. Čirok – plodina s velkou budoucností. Úroda 60 (2), p. 68 - 70

## 9 Přílohy

Tabulka 20: Tukeyův test ke grafu 1

č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná výnos (t.ha-1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 2,7012, sv = 14,000							
	varianta	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
		47,470	43,577	37,147	87,587	54,280	59,230	57,060
1	Bovital 25 cr		0,1217	0,0002	0,0002	0,002E	0,0002	0,0002
2	Bovital 50 cr	0,1217		0,0042	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
3	Bovital 75 cr	0,0002	0,0042		0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	Goliath 50 cr	0,0002	0,0002	0,0002		0,0002	0,0002	0,0002
5	Sucrosorgho 25 cr	0,0026	0,0002	0,0002	0,0002		0,0306	0,417E
6	Sucrosorgho 50 cr	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,030E		0,675C
7	Sucrosorgho 75 cr	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,417E	0,6750	

Tabulka 21: Tukeyův test ke grafu 2

č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná obsah sušiny (%) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,38160, sv = 14,000							
	varianta	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
		24,323	26,780	23,983	18,107	20,543	19,910	18,173
1	Bovital 25 cr		0,0037	0,9921	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
2	Bovital 50 cr	0,0037		0,0012	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
3	Bovital 75 cr	0,9921	0,0012		0,0002	0,0003	0,0002	0,0002
4	Goliath 50 cr	0,0002	0,0002	0,0002		0,0039	0,037E	1,0000
5	Sucrosorgho 25 cr	0,0002	0,0002	0,0003	0,0039		0,860E	0,0050
6	Sucrosorgho 50 cr	0,0002	0,0002	0,0002	0,0376	0,8606		0,0476
7	Sucrosorgho 75 cr	0,0002	0,0002	0,0002	1,0000	0,0050	0,047E	

Tabulka 22: Tukeyův test ke grafu 3

č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná průměrný výnos sušiny (t.ha-1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,05850, sv = 14,000							
	varianta	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
		11,753	11,670	8,9067	15,853	11,140	11,793	10,353
1	Bovital 25 cr		0,9994	0,0002	0,0002	0,0860	1,0000	0,0002
2	Bovital 50 cr	0,9994		0,0002	0,0002	0,1734	0,9948	0,0003
3	Bovital 75 cr	0,0002	0,0002		0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	Goliath 50 cr	0,0002	0,0002	0,0002		0,0002	0,0002	0,0002
5	Sucrosorgho 25 cr	0,0860	0,1734	0,0002	0,0002		0,0604	0,0180
6	Sucrosorgho 50 cr	1,0000	0,9948	0,0002	0,0002	0,0604		0,0002
7	Sucrosorgho 75 cr	0,0002	0,0003	0,0002	0,0002	0,0180	0,0002	

Tabulka 23: Tukeyův test ke grafu 4

Tukeyův HSD test; proměnná Produkce CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> .t-1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 98,048, sv = 14,000								
Č. buňky	varianta	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
		214,00	207,33	197,33	241,00	250,00	231,33	241,67
1	Bovital 25 crr		0,97809E	0,422603	0,057219	0,007703	0,380683	0,049428
2	Bovital 50 crr	0,978098		0,868368	0,012966	0,001857	0,108706	0,01116E
3	Bovital 75 crr	0,422603	0,86836E		0,001521	0,000356	0,012031	0,00133
4	Goliath 50 crr	0,057219	0,01296E	0,001521		0,913790	0,884697	1,00000
5	Sucrosorgho 25 crr	0,007703	0,001857	0,000356	0,913790		0,304695	0,93800
6	Sucrosorgho 50 crr	0,380683	0,10870E	0,012031	0,884697	0,304695		0,85092
7	Sucrosorgho 75 crr	0,049428	0,01116E	0,001337	1,000000	0,938009	0,850929	

Tabulka 24: Tukeyův test ke grafu 5

Tukeyův HSD test; proměnná Obsah CH <sub>4</sub> v bioplynu (%) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 4,4286, sv = 14,000								
Č. buňky	varianta	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
		67,000	60,000	47,000	64,000	56,000	61,000	56,000
1	Bovital 25 cm		0,015265	0,000174	0,599938	0,000396	0,043640	0,00039
2	Bovital 50 cm	0,015265		0,000199	0,296612	0,296612	0,996435	0,29661
3	Bovital 75 cm	0,000174	0,000199		0,000174	0,001980	0,000182	0,00198
4	Goliath 50 cm	0,599938	0,296612	0,000174		0,005371	0,599938	0,00537
5	Sucrosorgho 25 crr	0,000396	0,296612	0,001980	0,005371		0,119928	1,00000
6	Sucrosorgho 50 crr	0,043640	0,996435	0,000182	0,599938	0,119928		0,11992
7	Sucrosorgho 75 crr	0,000396	0,296612	0,001980	0,005371	1,000000	0,119928	

Tabulka 25: Tukeyův test ke grafu 6

Tukeyův HSD test; proměnná Produkce bioplynu (m <sup>3</sup> .ha-1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 44311,, sv = 14,000								
Č. buňky	varianta	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
		3689,3	4036,3	3738,7	5970,0	4976,0	4468,3	4479,7
1	Bovital 25 cm		0,445136	0,999937	0,000174	0,000203	0,006684	0,00594
2	Bovital 50 cm	0,445136		0,608176	0,000174	0,001372	0,225952	0,20427
3	Bovital 75 cm	0,999937	0,608176		0,000174	0,000224	0,011195	0,00993
4	Goliath 50 cm	0,000174	0,000174	0,000174		0,000851	0,000177	0,00017
5	Sucrosorgho 25 crr	0,000203	0,001372	0,000224	0,000851		0,111454	0,12443
6	Sucrosorgho 50 crr	0,006684	0,225952	0,011195	0,000177	0,111454		1,00000
7	Sucrosorgho 75 crr	0,005946	0,204278	0,009933	0,000177	0,124438	1,000000	

Tabulka 26: Tukeyův test ke grafu 7

Tukeyův HSD test; proměnná Produkce CH4 (m3.ha-1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 8208,9, sv = 14,000								
Č. buňky	varianta	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}
		2472,3	2418,3	1757,0	3820,0	2784,0	2724,3	2503,3
1	Bovital 25 cm		0,988133	0,000175	0,000174	0,011866	0,050813	0,999438
2	Bovital 50 cm	0,988133		0,000176	0,000174	0,003255	0,013632	0,901741
3	Bovital 75 cm	0,000175	0,000176		0,000174	0,000174	0,000174	0,000174
4	Goliath 50 cm	0,000174	0,000174	0,000174		0,000174	0,000174	0,000174
5	Sucrosorgho 25 cr	0,011866	0,003255	0,000174	0,000174		0,980360	0,025334
6	Sucrosorgho 50 cr	0,050813	0,013632	0,000174	0,000174	0,980360		0,105289
7	Sucrosorgho 75 cr	0,999438	0,901743	0,000174	0,000174	0,025334	0,105289	

Tabulka 27: Tukeyův test ke grafu 8

Tukeyův HSD test; proměnná obsah sušiny (%) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,43297, sv = 18,000										
Č. buňky	varianta	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
		25,113	25,670	25,407	30,777	30,450	29,647	24,153	25,237	25,553
1	Bovital 25 cr		0,9765	0,9997	0,0002	0,0002	0,0002	0,6896	1,0000	0,9947
2	Bovital 50 cr	0,9765		0,9999	0,0002	0,0002	0,0002	0,1753	0,9952	1,0000
3	Bovital 75 cr	0,9997	0,9999		0,0002	0,0002	0,0002	0,3736	1,0000	1,0000
4	Goliath 25 cr	0,0002	0,0002	0,0002		0,9993	0,5005	0,0002	0,0002	0,0002
5	Goliath 50 cr	0,0002	0,0002	0,0002	0,9993		0,8439	0,0002	0,0002	0,0002
6	Goliath 75 cr	0,0002	0,0002	0,0002	0,5005	0,8439		0,0002	0,0002	0,0002
7	Sucrosorgho 25 cr	0,6896	0,1753	0,3736	0,0002	0,0002	0,0002		0,5520	0,2499
8	Sucrosorgho 50 cr	1,0000	0,9952	1,0000	0,0002	0,0002	0,0002	0,5520		0,9995
9	Sucrosorgho 75 cr	0,9947	1,0000	1,0000	0,0002	0,0002	0,0002	0,2499	0,9995	

Tabulka 28: Tukeyův test ke grafu 9

Tukeyův HSD test; proměnná výnos (t.ha-1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 5,1983, sv = 18,000										
Č. buňky	varianta	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
		46,333	45,800	38,483	77,133	75,600	59,007	80,067	63,400	68,917
1	Bovital 25 cr		1,0000	0,0119	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
2	Bovital 50 cr	1,0000		0,0214	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
3	Bovital 75 cr	0,0119	0,0214		0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	Goliath 25 cr	0,0002	0,0002	0,0002		0,9944	0,0002	0,8055	0,0002	0,0080
5	Goliath 50 cr	0,0002	0,0002	0,0002	0,9944		0,0002	0,3405	0,0003	0,0423
6	Goliath 75 cr	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002		0,0002	0,3599	0,0013
7	Sucrosorgho 25 cr	0,0002	0,0002	0,0002	0,8055	0,3405	0,0002		0,0002	0,0005
8	Sucrosorgho 50 cr	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,3599	0,0002		0,1374
9	Sucrosorgho 75 cr	0,0002	0,0002	0,0002	0,0080	0,0423	0,0013	0,0005	0,1374	

Tabulka 29: Tukeyův test ke grafu 10

č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná průměrný výnos sušiny (t.ha-1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,43717, sv = 18,000									
	varianta	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
		11,639	11,761	9,7822	23,738	23,020	17,481	19,333	15,997	17,612
1	Bovital 25 cm		1,0000	0,0569	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
2	Bovital 50 cm	1,0000		0,0364	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
3	Bovital 75 cm	0,0569	0,0364		0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	Goliath 25 cm	0,0002	0,0002	0,0002		0,9092	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
5	Goliath 50 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,9092		0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
6	Goliath 75 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002		0,0579	0,1980	1,0000
7	Sucrosorgho 25 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0579		0,0004	0,0917
8	Sucrosorgho 50 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,1980	0,0004		0,1305
9	Sucrosorgho 75 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	1,0000	0,0917	0,1305	

Tabulka 30: Tukeyův test ke grafu 11

č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná produkce CH4 (m3.t-1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 11,444, sv = 18,000									
	varianta	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
		214,33	199,33	192,33	263,33	235,67	228,33	254,00	232,00	228,00
1	Bovital 25 cm		0,0011	0,0002	0,0002	0,0002	0,0022	0,0002	0,0003	0,0027
2	Bovital 50 cm	0,0011		0,2791	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
3	Bovital 75 cm	0,0002	0,2791		0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	Goliath 25 cm	0,0002	0,0002	0,0002		0,0002	0,0002	0,0638	0,0002	0,0002
5	Goliath 50 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002		0,2312	0,0002	0,9099	0,1898
6	Goliath 75 cm	0,0022	0,0002	0,0002	0,0002	0,2312		0,0002	0,9099	1,0000
7	Sucrosorgho 25 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0638	0,0002	0,0002		0,0002	0,0002
8	Sucrosorgho 50 cm	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,9099	0,9099	0,0002		0,8644
9	Sucrosorgho 75 cm	0,0027	0,0002	0,0002	0,0002	0,1898	1,0000	0,0002	0,8644	

Tabulka 31: Tukeyův test ke grafu 12

č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná obsah CH4 v bioplynu (%) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 1,8889, sv = 18,000									
	varianta	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
		65,667	59,000	47,000	67,333	62,333	58,000	66,667	61,333	55,667
1	Bovital 25 cm		0,0005	0,0002	0,8484	0,1357	0,0002	0,9907	0,0246	0,0002
2	Bovital 50 cm	0,0005		0,0002	0,0002	0,1357	0,9907	0,0002	0,5146	0,1357
3	Bovital 75 cm	0,0002	0,0002		0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	Goliath 25 cm	0,8484	0,0002	0,0002		0,0073	0,0002	0,9994	0,0013	0,0002
5	Goliath 50 cm	0,1357	0,1357	0,0002	0,0073		0,0246	0,0246	0,9907	0,0005
6	Goliath 75 cm	0,0002	0,9907	0,0002	0,0002	0,0246		0,0002	0,1357	0,5146
7	Sucrosorgho 25 cm	0,9907	0,0002	0,0002	0,9994	0,0246	0,0002		0,0040	0,0002
8	Sucrosorgho 50 cm	0,0246	0,5146	0,0002	0,0013	0,9907	0,1357	0,0040		0,0022
9	Sucrosorgho 75 cm	0,0002	0,1357	0,0002	0,0002	0,0005	0,5146	0,0002	0,0022	

Tabulka 32: Tukeyův test ke grafu 13

C. buňky		Tukeyův HSD test; proměnná produkce bioplynu (m3.ha-1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 1387E2, sv = 18,000								
C.	varianta	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
		3801,3	3976,3	4035,1	9287,6	8704,7	6883,4	7365,8	6053,0	7220,5
1	Bovital 25 cm		0,9995	0,9965	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
2	Bovital 50 cm	0,9995		1,0000	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
3	Bovital 75 cm	0,9965	1,0000		0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	Goliath 25 cm	0,0002	0,0002	0,0002		0,6118		0,0002	0,0003	0,0002
5	Goliath 50 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,6118		0,0005	0,0082	0,0002	0,0031
6	Goliath 75 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0005		0,8001	0,2044	0,9653
7	Sucrosorgho 25 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0082	0,8001		0,0097	0,9999
8	Sucrosorgho 50 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,2044	0,0097		0,0257
9	Sucrosorgho 75 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0031	0,9653	0,9999	0,0257	

Tabulka 33: Tukeyův test ke grafu 14

C. buňky		Tukeyův HSD test; proměnná produkce CH4 (m3.ha-1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 26987, sv = 18,000								
C.	varianta	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
		2495,6	2344,2	1885,7	6250,4	5425,3	3991,8	4910,4	3711,8	4016,5
1	Bovital 25 cm		0,9617	0,0061	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
2	Bovital 50 cm	0,9617		0,0591	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
3	Bovital 75 cm	0,0061	0,0591		0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	Goliath 25 cm	0,0002	0,0002	0,0002		0,0004	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
5	Goliath 50 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004		0,0002	0,0258	0,0002	0,0002
6	Goliath 75 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002		0,0002	0,5097	1,0000
7	Sucrosorgho 25 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0258	0,0002		0,0002	0,0002
8	Sucrosorgho 50 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,5097	0,0002		0,4059
9	Sucrosorgho 75 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	1,0000	0,0002	0,4059	

Tabulka 34: Tukeyův test ke grafu 15

C. buňky		Tukeyův HSD test; proměnná obsah sušiny (%) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,42019, sv = 18,000								
C.	varianta	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
		25,413	25,983	25,707	31,143	30,817	28,810	23,597	25,560	25,857
1	Bovital 25 cm		0,9706	0,9997	0,0002	0,0002	0,0003	0,0575	1,0000	0,9938
2	Bovital 50 cm	0,9706		0,9998	0,0002	0,0002	0,0013	0,0066	0,9954	1,0000
3	Bovital 75 cm	0,9997	0,9998		0,0002	0,0002	0,0005	0,0191	1,0000	1,0000
4	Goliath 25 cm	0,0002	0,0002	0,0002		0,9993	0,0081	0,0002	0,0002	0,0002
5	Goliath 50 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,9993		0,0283	0,0002	0,0002	0,0002
6	Goliath 75 cm	0,0003	0,0013	0,0005	0,0081	0,0283		0,0002	0,0004	0,0008
7	Sucrosorgho 25 cm	0,0575	0,0066	0,0191	0,0002	0,0002	0,0002		0,0334	0,0107
8	Sucrosorgho 50 cm	1,0000	0,9954	1,0000	0,0002	0,0002	0,0004	0,0334		0,9996
9	Sucrosorgho 75 cm	0,9938	1,0000	1,0000	0,0002	0,0002	0,0008	0,0107	0,9996	

Tabulka 35: Tukeyův test ke grafu 16

č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná výnos (t.ha-1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 5,0961, sv = 18,000									
	varianta	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
		46,467	46,000	39,277	78,733	79,667	54,300	81,667	64,600	70,427
1	Bovital 25 cm		1,0000	0,0227	0,0002	0,0002	0,0112	0,0002	0,0002	0,0002
2	Bovital 50 cm	1,0000		0,0377	0,0002	0,0002	0,0067	0,0002	0,0002	0,0002
3	Bovital 75 cm	0,0227	0,0377		0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	Goliath 25 cm	0,0002	0,0002	0,0002		0,9998	0,0002	0,7976	0,0002	0,0066
5	Goliath 50 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,9998		0,0002	0,9693	0,0002	0,0024
6	Goliath 75 cm	0,0112	0,0067	0,0002	0,0002	0,0002		0,0002	0,0008	0,0002
7	Sucrosorgho 25 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,7976	0,9693	0,0002		0,0002	0,0004
8	Sucrosorgho 50 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0008	0,0002		0,0961
9	Sucrosorgho 75 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0066	0,0024	0,0002	0,0004	0,0961	

Tabulka 36: Tukeyův test ke grafu 17

č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná průměrný výnos sušiny (t.ha-1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,54871, sv = 18,000									
	varianta	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
		11,809	11,954	10,102	24,519	24,548	15,639	19,277	16,508	18,214
1	Bovital 25 cm		1,0000	0,1756	0,0002	0,0002	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
2	Bovital 50 cm	1,0000		0,1150	0,0002	0,0002	0,0004	0,0002	0,0002	0,0002
3	Bovital 75 cm	0,1756	0,1150		0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	Goliath 25 cm	0,0002	0,0002	0,0002		1,0000	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
5	Goliath 50 cm	0,0002	0,0002	0,0002	1,0000		0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
6	Goliath 75 cm	0,0003	0,0004	0,0002	0,0002	0,0002		0,0004	0,8690	0,0110
7	Sucrosorgho 25 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004		0,0057	0,7065
8	Sucrosorgho 50 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,8690	0,0057		0,1762
9	Sucrosorgho 75 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0110	0,7065	0,1762	

Tabulka 37: Tukeyův test ke grafu 18

č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná produkce CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> .t-1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 19,963, sv = 18,000									
	varianta	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
		217,67	204,33	192,67	260,00	235,67	228,67	258,67	236,33	226,67
1	Bovital 25 cm		0,0372	0,0002	0,0002	0,0028	0,1253	0,0002	0,0020	0,3088
2	Bovital 50 cm	0,0372		0,0898	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0004
3	Bovital 75 cm	0,0002	0,0898		0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	Goliath 25 cm	0,0002	0,0002	0,0002		0,0002	0,0002	1,0000	0,0003	0,0002
5	Goliath 50 cm	0,0028	0,0002	0,0002	0,0002		0,6108	0,0003	1,0000	0,3088
6	Goliath 75 cm	0,1253	0,0002	0,0002	0,0002	0,6108		0,0002	0,5015	0,9997
7	Sucrosorgho 25 cm	0,0002	0,0002	0,0002	1,0000	0,0003	0,0002		0,0004	0,0002
8	Sucrosorgho 50 cm	0,0020	0,0002	0,0002	0,0003	1,0000	0,5015	0,0004		0,2331
9	Sucrosorgho 75 cm	0,3088	0,0004	0,0002	0,0002	0,3088	0,9997	0,0002	0,2331	



Tabulka 38: Tukeyův test ke grafu 19

č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná produkce bioplynu (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> ) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 1915E2, sv = 18,000									
	varianta	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
		3875,0	4051,9	4129,3	9676,4	9041,1	6237,7	7719,6	6362,1	7370,3
1	Bovital 25 cm		0,9999	0,9980	0,0002	0,0002	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002
2	Bovital 50 cm	0,9999		1,0000	0,0002	0,0002	0,0004	0,0002	0,0003	0,0002
3	Bovital 75 cm	0,9980	1,0000		0,0002	0,0002	0,0005	0,0002	0,0003	0,0002
4	Goliath 25 cm	0,0002	0,0002	0,0002		0,6946	0,0002	0,0010	0,0002	0,0003
5	Goliath 50 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,6946		0,0002	0,0341	0,0002	0,0047
6	Goliath 75 cm	0,0003	0,0004	0,0005	0,0002	0,0002		0,0138	1,0000	0,0946
7	Sucrosorgho 25 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0010	0,0341	0,0138		0,0279	0,9835
8	Sucrosorgho 50 cm	0,0002	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	1,0000	0,0279		0,1756
9	Sucrosorgho 75 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0047	0,0946	0,9835	0,1756	

Tabulka 39: Tukeyův test ke grafu 20

č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná produkce CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> ) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 41305,, sv = 18,000									
	varianta	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
		2570,6	2442,9	1952,9	6375,6	5785,3	3575,5	4987,6	3901,8	4129,9
1	Bovital 25 cm		0,9965	0,0325	0,0002	0,0002	0,0004	0,0002	0,0002	0,0002
2	Bovital 50 cm	0,9965		0,1401	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
3	Bovital 75 cm	0,0325	0,1401		0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
4	Goliath 25 cm	0,0002	0,0002	0,0002		0,0451	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
5	Goliath 50 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0451		0,0002	0,0036	0,0002	0,0002
6	Goliath 75 cm	0,0004	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002		0,0002	0,5821	0,0686
7	Sucrosorgho 25 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0036	0,0002		0,0003	0,0018
8	Sucrosorgho 50 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,5821	0,0003		0,8934
9	Sucrosorgho 75 cm	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0686	0,0018	0,8934	

Tabulka 40: Tukeyův test ke grafu 21

č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná průměrný výnos sušiny (t.ha <sup>-1</sup> ) (25 cm v Číslo připravený) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,18432, sv = 16,000										
	varianta	rok	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
			11,753	11,639	11,809	----	23,738	24,519	11,140	19,333	19,277
1	Bovital 25 cm	2010		1,0000	1,0000		0,0002	0,0002	0,6586	0,0002	0,0002
2	Bovital 25 cm	2011	1,0000		0,9996		0,0002	0,0002	0,8346	0,0002	0,0002
3	Bovital 25 cm	2012	1,0000	0,9996			0,0002	0,0002	0,5652	0,0002	0,0002
4	Goliath 25 cm	2010									
5	Goliath 25 cm	2011	0,0002	0,0002	0,0002			0,3858	0,0002	0,0002	0,0002
6	Goliath 25 cm	2012	0,0002	0,0002	0,0002		0,3858		0,0002	0,0002	0,0002
7	Sucrosorgho 25 cm	2010	0,6586	0,8346	0,5652		0,0002	0,0002		0,0002	0,0002
8	Sucrosorgho 25 cm	2011	0,0002	0,0002	0,0002		0,0002	0,0002	0,0002		1,0000
9	Sucrosorgho 25 cm	2012	0,0002	0,0002	0,0002		0,0002	0,0002	0,0002	1,0000	

Tabulka 41: Tukeyův test ke grafu 22

č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná průměrný výnos sušiny (t.ha-1) (50 cm v Číslo připravený) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,23015, sv = 18,000										
	varianta	rok	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
			11,670	11,761	11,954	15,853	23,020	24,548	11,793	15,997	16,508
1	Bovital 50 crr	2010		1,0000	0,9977	0,0002	0,0002	0,0002	1,0000	0,0002	0,0002
2	Bovital 50 crr	2011	1,0000		0,9999	0,0002	0,0002	0,0002	1,0000	0,0002	0,0002
3	Bovital 50 crr	2012	0,9977	0,9999		0,0002	0,0002	0,0002	1,0000	0,0002	0,0002
4	Goliath 50 crr	2010	0,0002	0,0002	0,0002		0,0002	0,0002	0,0002	1,0000	0,7549
5	Goliath 50 crr	2011	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002		0,0227	0,0002	0,0002	0,0002
6	Goliath 50 crr	2012	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0227		0,0002	0,0002	0,0002
7	Sucrosorgho 50 crr	2010	1,0000	1,0000	1,0000	0,0002	0,0002	0,0002		0,0002	0,0002
8	Sucrosorgho 50 crr	2011	0,0002	0,0002	0,0002	1,0000	0,0002	0,0002	0,0002		0,9168
9	Sucrosorgho 50 crr	2012	0,0002	0,0002	0,0002	0,7549	0,0002	0,0002	0,0002	0,9168	

Tabulka 42: Tukeyův test ke grafu 23

č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná průměrný výnos sušiny (t.ha-1) (75 cm v Číslo připravený) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,71707, sv = 16,000										
	varianta	rok	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
			8,9067	9,7822	10,102	----	17,481	15,639	10,353	17,612	18,214
1	Bovital 75 crr	2010		0,8985	0,6709		0,0002	0,0002	0,4583	0,0002	0,0002
2	Bovital 75 crr	2011	0,8985		0,9997		0,0002	0,0002	0,9888	0,0002	0,0002
3	Bovital 75 crr	2012	0,6709	0,9997			0,0002	0,0002	0,9999	0,0002	0,0002
4	Goliath 75 crr	2010									
5	Goliath 75 crr	2011	0,0002	0,0002	0,0002			0,2033	0,0002	1,0000	0,9567
6	Goliath 75 crr	2012	0,0002	0,0002	0,0002		0,2033		0,0002	0,1489	0,0305
7	Sucrosorgho 75 crr	2010	0,4583	0,9888	0,9999		0,0002	0,0002		0,0002	0,0002
8	Sucrosorgho 75 crr	2011	0,0002	0,0002	0,0002		1,0000	0,1489	0,0002		0,9849
9	Sucrosorgho 75 crr	2012	0,0002	0,0002	0,0002		0,9567	0,0305	0,0002	0,9849	

Tabulka 43: Tukeyův test ke grafu 24

č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná Produkce CH4 (m3.ha-1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 21811,, sv = 16,000										
	varianta	rok	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
			2472,3	2495,6	2570,6	}	6250,4	6375,6	2784,0	4910,4	4987,6
1	Bovital 25 crr	2010		1,0000	0,9896		0,0002	0,0002	0,2305	0,0002	0,0002
2	Bovital 25 crr	2011	1,0000		0,9980		0,0002	0,0002	0,3077	0,0002	0,0002
3	Bovital 25 crr	2012	0,9896	0,9980			0,0002	0,0002	0,6468	0,0002	0,0002
4	Goliath 25 crr	2010									
5	Goliath 25 crr	2011	0,0002	0,0002	0,0002			0,9610	0,0002	0,0002	0,0002
6	Goliath 25 crr	2012	0,0002	0,0002	0,0002		0,9610		0,0002	0,0002	0,0002
7	Sucrosorgho 25 crr	2010	0,2305	0,3077	0,6468		0,0002	0,0002		0,0002	0,0002
8	Sucrosorgho 25 crr	2011	0,0002	0,0002	0,0002		0,0002	0,0002	0,0002		0,9976
9	Sucrosorgho 25 crr	2012	0,0002	0,0002	0,0002		0,0002	0,0002	0,0002	0,9976	

Tabulka 44: Tukeyův test ke grafu 25

Tukeyův HSD test; proměnná Produkce CH4 (m3.ha-1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 13635,, sv = 18,000											
č. buňky	varianta	rok	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
			2418,3	2344,2	2442,9	3820,0	5425,3	5785,3	2724,3	3711,8	3901,8
1	Bovital 50 crr	2010		0,9962	1,0000	0,0002	0,0002	0,0002	0,0879	0,0002	0,0002
2	Bovital 50 crr	2011	0,9962		0,9767	0,0002	0,0002	0,0002	0,0191	0,0002	0,0002
3	Bovital 50 crr	2012	1,0000	0,9767		0,0002	0,0002	0,0002	0,1401	0,0002	0,0002
4	Goliath 50 crr	2010	0,0002	0,0002	0,0002		0,0002	0,0002	0,0002	0,9605	0,9927
5	Goliath 50 crr	2011	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002			0,0002	0,0002	0,0002
6	Goliath 50 crr	2012	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0292		0,0002	0,0002	0,0002
7	Sucrosorgho 50 crr	2010	0,0879	0,0191	0,1401	0,0002	0,0002	0,0002		0,0002	0,0002
8	Sucrosorgho 50 crr	2011	0,0002	0,0002	0,0002	0,9605	0,0002	0,0002	0,0002		0,5662
9	Sucrosorgho 50 crr	2012	0,0002	0,0002	0,0002	0,9927	0,0002	0,0002	0,0002	0,5662	

Tabulka 45: Tukeyův test ke grafu 26

Tukeyův HSD test; proměnná Produkce CH4 (m3.ha-1) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 46861,, sv = 16,000											
č. buňky	varianta	rok	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}
			1757,0	1885,7	1962,9	3991,8	3575,5	2503,3	4016,5	4129,9	
1	Bovital 75 cm	2010		0,9947	0,9457		0,0002	0,0002	0,0117	0,0002	0,0002
2	Bovital 75 cm	2011	0,9947		0,9999		0,0002	0,0002	0,0472	0,0002	0,0002
3	Bovital 75 cm	2012	0,9457	0,9999			0,0002	0,0002	0,0947	0,0002	0,0002
4	Goliath 75 cm	2010									
5	Goliath 75 cm	2011	0,0002	0,0002	0,0002			0,3243	0,0002	1,0000	0,9919
6	Goliath 75 cm	2012	0,0002	0,0002	0,0002		0,3243		0,0005	0,2645	0,0910
7	Sucrosorgho 75 cm	2010	0,0117	0,0472	0,0947		0,0002	0,0005		0,0002	0,0002
8	Sucrosorgho 75 cm	2011	0,0002	0,0002	0,0002		1,0000	0,2645	0,0002		0,9975
9	Sucrosorgho 75 cm	2012	0,0002	0,0002	0,0002		0,9919	0,0910	0,0002	0,9975	