

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů
Katedra rostlinné výroby



Využití čiroku cukrového k produkci bioplynu

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Tereza Vlasáková

Vedoucí práce: Ing. Jaroslav Urban, Ph.D.

2013

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Využití čiroku cukrového k produkci bioplynu** vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Praze dne:

Podpis autora práce:

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Jaroslavu Urbanovi, PhD. za odborné vedení, cenné konzultace a připomínky při zpracování diplomové práce. Za spolupráci na pokusech a cenné rady děkuji Ing. Janu Hodovalovi z katedry rostlinné výroby.

SOUHRN

V posledních letech se na celém světě velmi výrazně zvyšuje zájem o alternativní zdroje energie. Důvodem jsou rychle ubývající zásoby fosilních paliv a ochrana životního prostředí. Nejvýznamnějším obnovitelným zdrojem je biomasa. Ta se nejčastěji využívá k přímému spalování nebo k anaerobní fermentaci, při které vzniká bioplyn, což je energeticky hodnotný plyn využívající se převážně k výrobě elektrické a tepelné energie. Biomasa a především rostlinná biomasa pěstovaná na zemědělské půdě má v ČR velký potenciál.

Cílem diplomové práce bylo porovnat různé odrůdy čiroku cukrového mezi sebou a vůči běžně pěstované a využívané bioplynové kukuřici ve výnosech biomasy a sušiny a dále v produkci bioplynu a výtěžnosti methanu. Dílčím cílem práce bylo stanovit optimální meziřádkové vzdálenosti ve vztahu k výnosům biomasy a sušiny a k produkci a kvalitě bioplynu.

Pro tento účel byly v letech 2011 a 2012 založeny maloparcelkové pokusy tří odrůd čiroku cukrového (Bovital, Goliath, Sucrosorgo) a jedné bioplynové kukuřice (odrůda Atletico). Pokusy byly realizovány na Výzkumné stanici FAPPZ ČZU v Červeném Újezdě. Porost čiroku byl založen při meziřádkové vzdálenosti 25 cm, 50 cm a 75 cm a kukuřice na obvyklé vzdálenosti 75 cm.

Dvouleté pokusy ukázaly, že nejlepší odrůdou čiroku je odrůda Goliath s výnosem biomasy $70,74 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, sušiny $21,49 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, produkcí bioplynu $8\,305 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ a výtěžností methanu $5\,234 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$. Nejméně produktivní ve všech výnosových a kvalitativních ukazatelích je odrůda Bovital, která byla ve výnosech biomasy horší o 38 % ($43,73 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), v produkci bioplynu o 52 % ($3\,979 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) a u výtěžnosti methanu dokonce o 56 % ($2\,282 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) oproti nejproduktivnější odrůdě Goliath.

Odrůda Goliath dosáhla největší produkce bioplynu ($9\,482 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) a methanu ($6\,313 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) při meziřádkové vzdálenosti 25 cm. Stejně tak i odrůda Sucrosorgo měla nejvyšší produkci bioplynu ($7\,543 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) a methanu ($4\,949 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) při meziřádkové vzdálenosti 25 cm. Odrůda Bovital dosáhla nejvyšší produkce bioplynu ($4\,082 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) při meziřádkové vzdálenosti 75 cm a methanu ($2\,534 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) při meziřádkové vzdálenosti 25 cm.

Při porovnání čiroku a kukuřice v produkci bioplynu a methanu při meziřádkové vzdálenosti 75 cm byla nejlepší odrůda Sucrosorgo ($7\,296 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ a $4\,073 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$), následovala odrůda Goliath ($6\,561 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ a $3\,784 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) a kukuřice ($6\,362 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ a $3\,713 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$), ale rozdíly mezi nimi nebyly statisticky průkazné. Odrůda Sucrosorgo měla větší výtěžnost methanu při všech meziřádkových vzdálenostech než kukuřice. Rovněž odrůda

Goliath měla lepší výsledky v produkci bioplynu a methanu při všech meziřádkových vzdálenostech než kukuřice. Horší výnosové a kvalitativní ukazatele oproti kukuřici měla pouze odrůda Bovital.

Z dosažených výsledků jednoznačně vyplývá, že nejvhodnější meziřádkovou vzdáleností pro pěstování čiroku cukrového k výrobě bioplynu je meziřádková vzdálenost 25 cm. Nejvýnosnější odrůdou čiroku byla odrůda Goliath, po které následovala odrůda Sucrosorgo. Obě odrůdy pěstované při meziřádkové vzdálenosti 25 cm dosáhly větší produkce bioplynu a methanu než běžně využívaná bioplynová kukuřice (odrůda Atletico).

Klíčová slova: čirok cukrový, odrůdy, výnos biomasy, produkce bioplynu, výtěžnost methanu, meziřádková vzdálenost

SUMMARY

In recent years in the world dramatically increases interest in alternative energy sources. The reason is quick decrease of fossil fuel and demands on environmental protection. The most significant of renewable energy sources is biomass. Biomass is mostly being used for direct combustion or for anaerobic fermentation. Fermentation is process producing energetically highly valuable gas, which is being used mainly for production of electric power and heat energy. Biomass and especially vegetable biomass grown on agricultural land has a big potential in the Czech Republic.

The aim of this thesis is comparison of various sweet sorghum species against commonly grown and utilized biogas maize in yield of biomass and dry matter and to biogas production and yield of methane. Partinal aim of the thesis is to determine optimal row spacing in relation to yield of biomass and dry matter to productivity and quality of biogas.

For this purpose, between 2011 and 2012 were founded experimental little lands for growing of three species of sweet sorghum (Bovital, Goliath, Sucrosorgo) and one species of biogas maize (the Athletico variety). Experiments were realized in Research institute of FAPPZ ČZU in Červený Újezd. The cover of sweet sorghum was set up in row spacing of 25 centimeters, 50 centimeters and 75 centimeters and maize in usual spacing of 75 centimeters.

The two-year research program pointed out that the best species of sweet sorghum is Goliath with yield of biomass $70,74 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, dry matter $21,49 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, biogas production of $8\,305 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ and methane production of $5\,234 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$. The least productive was the Bovital species in all quality and productivity indicators. Yield of biomass was worse of 38 % ($43,73 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), biogas productivity was worse of 52 % ($3\,979 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) and yield of methane was worse of 56 % ($2\,282 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) against the most productive Goliath species.

The Goliath species reached the highest yield of biogas ($9\,482 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) and methane ($6\,313 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) by using the 25 centimeters row spacing. Also species Sucrosorgo had the highest yield of biogas ($7\,543 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) and methane ($4\,949 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) with 25 centimeters row spacing. The Bovital species reached the highest yield of biogas ($4\,082 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) with 75 centimeters row spacing and yield of methane ($2\,534 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) with 25 centimeters row spacing.

In comparison of sorghum and maize biogas and methane production with 75 centimeters row spacing, the best was the Sucrosorgo species ($7\,296 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ and $4\,073 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$), followed by the Goliath species ($6\,561 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ and $3\,784 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) and maize ($6\,362 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ and $3\,713 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$). Anyway, differences between species were not statistically

conclusive. The Sucrosorgo species had higher yield of methane in all row spacings than maize. The Goliath species had better results in yield of biogas and methane with all row spacings than maize as well. Only the Bovital species had worse productivity and yield results than maize.

From given results would be concluded that the best row spacing for growing of sweet sorghum for biogas production is 25 centimeters. The most productive sorghum species was Goliath, followed by Sucrosorgo. Both species grown with row spacing of 25 centimeters reached higher yield of biogas and methane than commonly used biogas maize (the Atletico species).

Keywords: sweet sorghum, species, yield of biomass, biogas production, yield of methane, row spacing

1 ÚVOD	1
2 VĚDECKÉ HYPOTÉZY A CÍL PRÁCE.....	2
2.1 Vědecké hypotézy	2
2.2 Cíl práce	2
3 LITERÁRNÍ REŠERŠE.....	3
3.1 Energetika v ČR.....	3
3.1.1 Obnovitelné zdroje energie (OZE)	4
3.1.2 Biomasa	6
3.1.3 Bioplyn.....	7
3.1.3.1 Výroba methanu (CH ₄)	8
3.2 Plodiny pro výrobu bioplynu	10
3.2.1 Kukuřice obecná (<i>Zea mays</i> L.).....	11
3.2.1.1 Druhy kukuřice	11
3.2.1.2 Botanické znaky.....	13
3.2.1.3 Chemické složení	14
3.2.1.4 Agrotechnika pěstování	15
3.2.1.4.1 Příprava půdy, klimatické a půdní podmínky, setí	15
3.2.1.4.2 Hnojení.....	17
3.2.1.4.3 Ochrana porostu	18
3.2.1.4.4 Sklizeň	20
3.2.2 Čirok obecný (<i>Sorghum bicolor</i> L.).....	21
3.2.2.1 Druhy čiroku	21
3.2.2.2 Botanické znaky.....	22
3.2.2.3 Chemické složení a kvalitativní parametry biomasy čiroku	23
3.2.2.4 Agrotechnika pěstování	25
3.2.2.4.1 Příprava půdy, klimatické a půdní podmínky, setí	25
3.2.2.4.2 Hnojení.....	26
3.2.2.4.3 Ochrana porostu	26
3.2.2.4.4 Sklizeň	29
3.3 Porovnání kukuřice a čiroku	30
4 MATERIÁL A METODY	31
4.1 Charakteristika pokusného stanoviště.....	31
4.2 Metodika řešení.....	32
4.3 Stanovení obsahu bioplynu v sušině čiroku cukrového.....	32
4.4 Přehled sledovaných variant pokusu.....	36
4.5 Přehled pracovních operací.....	36
4.6 Charakteristika počasí na pokusném stanovišti	37
4.7 Charakteristika odrůd čiroků	39
4.8 Charakteristika odrůdy kukuřice.....	40
4.9 Zpracování výsledků.....	40
5 VÝSLEDKY	41
5.1 Vliv odrůdy čiroku na výnosové a kvalitativní ukazatele.....	41
5.2 Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnosové a kvalitativní ukazatele odrůd čiroku.....	42
5.3 Vliv odrůdy čiroku a meziřádkové vzdálenosti na výnosové a kvalitativní ukazatele ..	42
5.4 Porovnání čiroku a kukuřice ve výnosových a kvalitativních ukazatelích.....	43
6 DISKUSE	58
6.1 Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy, výnos sušiny, produkci bioplynu a výtěžnost methanu.....	58

6.2 Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos biomasy, výnos sušiny, produkci bioplynu a výtěžnost methanu	59
6.3 Vliv odrůdy čiroku a kukuřice na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu	60
6.4 Výhody pěstování čiroku	61
6.5 Pěstování čiroku a kukuřice ve vztahu k agroenvironmentálním opatřením.....	62
6.6 Bioplyn a biomasa jako alternativa fosilních paliv.....	63
7 ZÁVĚR.....	65
8 SEZNAM LITERATURY	68

SEZNAM TABULEK

- Tab. 1:** Instalovaný výkon v elektrizační soustavě ČR k 31. 12. 2011
- Tab. 2:** Plocha zemědělské půdy disponibilní pro energetické využití při různých stupních zajištění určité míry potravinové soběstačnosti
- Tab. 3:** Chemické složení bioplynu a hmotnosti normálního krychlového metru plynu
- Tab. 4:** Produkce bioplynu z hlavních složek organických látek
- Tab. 5:** Průměrné složení zrna kukuřice při 85 % sušiny (%)
- Tab. 6:** Průměrné chemické složení zrna čiroku
- Tab. 7:** Skladba frakcí bílkovin
- Tab. 8:** Doporučené dávky živin
- Tab. 9:** Přehled variant pokusu
- Tab. 10:** Pěstitelské technologie 2011
- Tab. 11:** Pěstitelské technologie 2012
- Tab. 12:** Meteorologické údaje stanoviště Červený Újezd za rok 2010 / 2011
- Tab. 13:** Meteorologické údaje stanoviště Červený Újezd za rok 2011 / 2012
- Tab. 14:** Vliv meziřádkové vzdálenosti a odrůdy čiroku a kukuřice na výnosové a kvalitativní parametry v roce 2011
- Tab. 15:** Vliv meziřádkové vzdálenosti a odrůdy čiroku a kukuřice na výnosové a kvalitativní parametry v roce 2012
- Tab. 16:** Vliv meziřádkové vzdálenosti a odrůdy čiroku a kukuřice na výnosové a kvalitativní parametry (průměr let 2011 a 2012)
- Tab. 17:** Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu v roce 2011 (průměr meziřádkových vzdáleností)
- Tab. 18:** Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu v roce 2012 (průměr meziřádkových vzdáleností)
- Tab. 19:** Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu v letech 2011 / 2012 (průměr meziřádkových vzdáleností)
- Tab. 20:** Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu při meziřádkové vzdálenosti 25 cm

Tab. 21: Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu při meziřádkové vzdálenosti 50 cm

Tab. 22: Vliv odrůdy čiroku a kukuřice na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu při meziřádkové vzdálenosti 75 cm

Tab. 23: Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu u odrůdy Bovital

Tab. 24: Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu u odrůdy Goliath

Tab. 25: Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu u odrůdy Sucrosorgo

Tab. 26: Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu (průměr odrůd čiroku)

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Vliv moření auxinovými přípravky na růst nadzemní a kořenové biomasy klíčících rostlin čiroků

Graf 2: Porovnání agrometeorologického roku 2010 / 2011 se standardními klimatologickými normály

Graf 3: Porovnání agrometeorologického roku 2011 / 2012 se standardními klimatologickými normály

Graf 4: Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy a sušiny v roce 2011

Graf 5: Vliv odrůdy čiroku na produkci bioplynu a výtěžnost methanu v roce 2011

Graf 6.: Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy a sušiny v roce 2012

Graf 7: Vliv odrůdy čiroku na produkci bioplynu a výtěžnost methanu v roce 2012

Graf 8.: Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy a sušiny v letech 2011 / 2012

Graf 9: Vliv odrůdy čiroku na produkci bioplynu a výtěžnost methanu v letech 2011 / 2012

Graf 10: Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy a sušiny při meziřádkové vzdálenosti 25 cm

Graf 11: Vliv odrůdy čiroku na produkci bioplynu a výtěžnost methanu při meziřádkové vzdálenosti 25 cm

Graf 12: Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy a sušiny při meziřádkové vzdálenosti 50 cm

- Graf 13:** Vliv odrůdy čiroku na produkci bioplynu a výtěžnost methanu při meziřádkové vzdálenosti 50 cm
- Graf 14:** Vliv odrůdy čiroku a kukuřice na výnos biomasy a sušiny při meziřádkové vzdálenosti 75 cm
- Graf 15:** Vliv odrůdy čiroku a kukuřice na produkci bioplynu a výtěžnost methanu při meziřádkové vzdálenosti 75 cm
- Graf 16:** Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos biomasy a sušiny u odrůdy Bovital
- Graf 17:** Vliv meziřádkové vzdálenosti na produkci bioplynu a výtěžnost methanu u odrůdy Bovital
- Graf 18:** Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos biomasy a sušiny u odrůdy Goliath
- Graf 19:** Vliv meziřádkové vzdálenosti na produkci bioplynu a výtěžnost methanu u odrůdy Goliath
- Graf 20:** Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos biomasy a sušiny u odrůdy Socrosorgo
- Graf 21:** Vliv meziřádkové vzdálenosti na produkci bioplynu a výtěžnost methanu u odrůdy Sucrosorgo
- Graf 22:** Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos biomasy a sušiny (průměr odrůd čiroku)
- Graf 23:** Vliv meziřádkové vzdálenosti na produkci bioplynu a výtěžnost methanu (průměr odrůd čiroku)

1 ÚVOD

Tuzemský trh s bioplynem v posledních letech zažívá velký rozvoj. Díky přijetí zákona o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů a zavedení investičních podpor z národních programů kofinancovaných EU vzrostl počet bioplynových stanic (dále jen BPS) v zemi za posledních pět let rychle z několika málo provozů na 481 bioplynových elektráren s celkovým instalovaným výkonem 363,24 MW (k 31. 12. 2012). Cílem Národního akčního plánu ČR do roku 2020 je podíl OZE na výrobě energie 13 %. Pokud by tento cíl měl být naplněn, bude růst počtu BPS pokračovat i nadále. Ke konci roku 2012 činil podíl bioplynu na OZE 15,9 %.

Největší využitelný potenciál biomasy v České republice spočívá v biomase získané pěstováním energetických rostlin na zemědělské půdě nevyužívané pro produkci potravin. Podle MZe tento potenciál představuje při zajištění 100 % potravinové soběstačnosti celkem 1 120 tis. ha až 1 508 tis. ha zemědělské půdy.

Z energetických plodin se pro výrobu bioplynu nejčastěji využívají kukuřice na siláž a cukrová řepa převážně v podobě cukrovarnických řízků. Obě tyto plodiny jsou zařazeny do skupiny širokořádkových plodin, což vyplývá z pravidel „Dobrého zemědělského a environmentálního stavu“ (dále jen GAEC), která řeší, kromě jiného, také problematiku vodní a větrné eroze půdy. V ČR je vodní erozí půdy silně ohroženo zhruba 11 tis. ha orné půdy, mírně erozně ohrožené orné půdy je 258 tis. ha. Vzhledem k této skutečnosti se od 1. 7. 2011 pravidla GAEC zpřísnily. Standard GAEC 2 byl novelou nařízení vlády č. 479/2009 Sb. rozšířen i na tzv. mírně erozně ohrožené půdy, na nichž je možné zakládat porosty širokořádkových plodin pouze s využitím půdoochranných technologií. Stejně jako kukuřice a cukrovka je také čirok zařazen mezi širokořádkové plodiny. V pokusech vykazoval čirok cukrový velmi dobré vlastnosti pro výrobu bioplynu. Zároveň byl testován při různých meziřádkových vzdálenostech. Při pěstování v menších meziřádkových vzdálenostech by snad v budoucnu mohl být využit také na mírně erozně ohrožených pozemcích. Mohl by být vhodnou alternativou kukuřice a řepy do bioplynových stanic a současně přispět jako přerušovač monotónních osevních postupů.

2 VĚDECKÉ HYPOTÉZY A CÍL PRÁCE

2.1 Vědecké hypotézy

a) Odrůdy čiroku cukrového se významně liší ve výnosech biomasy, výnosech sušiny, v produkci bioplynu a výtěžnosti methanu.

b) Čirok cukrový pěstovaný při meziřádkové vzdálenosti 25 cm a 50 cm má vyšší výnosy biomasy, výnosy sušiny, produkci bioplynu a výtěžnost methanu než čirok pěstovaný na meziřádkové vzdálenosti 75 cm.

c) Čirok cukrový dosahuje vyššího výnosu biomasy, výnosu sušiny, produkce bioplynu a výtěžnosti methanu než běžně pěstovaná bioplynová kukuřice (odrůda Atletico).

2.2 Cíl práce

Cílem práce je porovnat odrůdy čiroku cukrového (Bovital, Goliath, Sucrosorgo) mezi sebou a vůči běžně pěstované a využívané bioplynové kukuřici (odrůda Atletico) ve výnosech biomasy a sušiny a dále v produkci bioplynu a výtěžnosti methanu. Dílčím cílem práce je stanovit optimální meziřádkovou vzdálenost ve vztahu k výnosům biomasy a k produkci a kvalitě bioplynu.

3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

3.1 Energetika v ČR

Studie společnosti Deloitte a.s. z roku 2011, nazvaná Současné trendy ve výstavbě zdrojů elektrické energie v ČR v kontextu EU, předkládá stav a předpokládaný vývoj energetického mixu ČR. Základem zdrojové základny ČR jsou jaderné elektrárny, uhelné elektrárny, teplárny a velké vodní elektrárny. Tento mix je doplněn obnovitelnými zdroji, zejména větrnými a fotovoltaickými elektrárnami a dále zdroji spalující biomasu a bioplyn. K největšímu nárůstu v posledních letech došlo v oblasti fotovoltaických zdrojů, ale i BPS. Díky nastavenému systému podpory a ceně technologie bylo v letech 2009 a 2010 nainstalováno téměř 2 GW u fotovoltaických zdrojů (Deloitte Česká republika, 2011). Instalovaný výkon ČR je v současnosti cca 20 250 GW. Podíl jednotlivých technologií je znázorněn v následující tabulce č. 1 (ERÚ, 2012).

Tab. 1: Instalovaný výkon v elektrizační soustavě ČR k 31. 12. 2011

Druh elektrárny	[MW]	Podíl [%]
Parní (PE)	10 788	53,30%
Jaderné (JE)	3 970	19,60%
Fotovoltaika	1 971	9,70%
Přečerpávací (PVE)	1 147	5,70%
Vodní (VE)	1 055	5,20%
Paroplynové (PPE)	591	2,90%
Plynové (PSE)	511	2,50%
Větrné (VTE)	219	1,10%
Celkem ČR	20 250	100,00%

(Zdroj dat: ERÚ, 2012)

Provoz stávajících jaderných elektráren v lokalitách Temelín a Dukovany je předpokládán po celou dobu životnosti, a to včetně určitého navýšení výkonu stávajících bloků vlivem rekonstrukčních úprav. Nová výstavba jaderných bloků je uvažována zejména v lokalitě Temelín – dostavba bloku 3 a 4. Předpokládá se postupné dožívání stávajícího uhelného parku. Jen z části probíhá jeho obnova. Obnova stávajících uhelných bloků je racionální v případech, ve kterých dojde ke splnění přísnějších emisních limitů a je zajištěna dodávka lokálního paliva s přijatelnou cenou. Základními limitujícími faktory uhelné energetiky jsou nedostatek domácího hnědého uhlí a zpřísněné emisní limity vyplývající ze směrnice 2010/75/EU o průmyslových emisích, která omezí provoz některých starších

zařízení, a to po roce 2016, respektive 2020 a 2023. Z důvodu dožívání současného uhelného portfolia lze očekávat nárůst investic do zdrojů využívajících zemní plyn. Doba výstavby je nejkratší ze všech konvenčních zdrojů a technologie je dostupná. Limitujícím faktorem je však návratnost těchto investic při současných cenách elektřiny. Možnosti vodní energetiky jsou značně omezené přírodními podmínkami v ČR. V současnosti je více než polovina instalovaného výkonu tvořena přečerpávacími vodními zdroji, jejichž využití výkonu je omezené. Pravděpodobný je pouze mírný nárůst v oblasti malých vodních elektráren. Lze také očekávat postupný nárůst instalovaného výkonu větrných elektráren. Limitujícím faktorem v ČR jsou zejména dostupné lokality a environmentální legislativa (projednání vlivů na životní prostředí). Z pohledu investorů je větrná energetika stále zajímavou oblastí s jasnými ekonomickými parametry – zejména garantovanou cenou. Nepředpokládá se významné navýšení instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren. Boom let 2009 a 2010 byl zastaven změnou legislativy - omezení podpory a také ve vazbě na limity stanovené v Národním akčním plánu pro energii z obnovitelných zdrojů, které jsou již dnes překročeny. Signifikantní nárůst lze očekávat pouze za předpokladu, kdy tyto zdroje budou ekonomicky smysluplné i bez státní podpory. Předpokládá se postupný rozvoj u zdrojů spalujících biomasu a bioplyn, tedy zvyšování jejich podílu na energetickém mixu ČR. Biomasa může být také spalována společně s uhlím. Na rozdíl od větrných a fotovoltaických elektráren je výroba z těchto zdrojů říditelná a jejich výkon predikovatelný.

Vývoj zdrojové základny České republiky bude pravděpodobně pokračovat v útlumu zdrojů využívajících uhlí s vysokou úrovní emisí a jejich částečné obnovy, rozvoji větrné energetiky a zdrojů využívajících biomasu a bioplyn a v případě, že to bude ekonomicky efektivní, také zdrojů využívajících zemní plyn. Uvažuje se také o rozvoji jaderné energetiky, ale velkou překážkou jsou doposud příliš vysoké náklady na výstavbu dalších jaderných bloků. Racionální investoři nebudou ochotni investovat do nových zdrojů s nejasnou ekonomickou návratností (Deloitte Česká republika, 2011).

3.1.1 Obnovitelné zdroje energie (OZE)

Podle Zákona č. 458/2000 Sb. jsou OZE zdroje, jejichž energetický potenciál se trvale a samovolně obnovuje přírodními procesy. OZE jsou tedy větrná energie, energie z vodních elektráren, solární tepelné systémy, fotovoltaické systémy, geotermální energie, tepelná čerpadla, teplo z odpadních surovin, z kompostů a k nejdůležitějším patří energie z biomasy (teplo, elektřina, paliva) (Celjak, 2008).

Velký potenciál je v energeticky využitelné biomase, která představuje asi 80 % dostupného potenciálu všech obnovitelných energií. Tento využitelný potenciál zahrnuje využití dřevního odpadu z pěstování, těžby a zpracování dřeva, slámy obilnin a olejnin, využívání cíleně pěstovaných energetických rostlin, výroba a využití motorových biopaliv (bionafta, biolíh, biooleje) a také velmi nezbytné využívání bioplynu. Největší využitelný potenciál biomasy v České republice spočívá v biomase získané pěstováním energetických rostlin na volné zemědělské půdě nevyužívané pro produkci potravin a na půdách antropogenních (Petříková a kol., 2006).

Jak je uvedeno v tabulce č. 2 je z celkové zemědělské půdy v ČR 3 480 tis. ha při zajištění 100 % potravinové soběstačnosti k dispozici pro energetické využití celkem 1120 tis. ha až 1508 tis. ha.

Tab. 2: Plocha zemědělské půdy disponibilní pro energetické využití při různých stupních zajištění určité míry potravinové soběstačnosti

Způsob využití půdy	Druh zemědělské půdy	Míra soběstačnosti (lineární pro všechny potravinářské komodity)		
		70%	100%	130%
		plocha půdy (tis. ha)		
Půda pro potravinovou soběstačnost	Orná půda	1401	1858	2390
	TTP	19	114	822
Volná půda (využitelná pro OZE)	Orná půda	1147	680/(689)	169
	Volné TTP	913	440/(819)	99
Celkem zemědělská půda pro energetické využití		2060	1120/(1508)	268
Celkem zemědělská půda		3480	3480	3480

(Zdroj dat: MZe, 2012)

Hlavní současnou nevýhodou energetického využití biomasy je její obecně nedostatečná ekonomická konkurenční schopnost vůči fosilním palivům. Energie z biomasy zatím úspěšně konkuruje jen v místních výtopnách, kde se spalují dřevní zbytky ze dřevozpracujících provozů, nebo u systémů založených na spalování slámy jako vedlejšího výrobku. Pěstování energetických rostlin, jejich sklizeň a příprava fytopaliva představuje již provozně a investičně náročný řetězec operací a jednotkové náklady jsou ovlivněny výnosem, který v jednotlivých letech může kolísat. I když v současnosti se stát snaží podporovat energetické využívání biomasy (výkupní ceny, dotace zemědělcům, atd.), mohou nastat případy, že užívání fosilních paliv je z ekonomického hlediska v ČR stále ještě výhodnější.

K tomu bude docházet, dokud ceny fosilních paliv nevzrostou nad nekonkurenceschopnou hranici, jako se to již stalo v případě zemního plynu, a to i s podporou připravované ekologické daňové reformy, která by měla konečně přinést započtení externalit do cen neobnovitelných zdrojů (Petříková a kol., 2006).

Cílem do roku 2020 je podíl OZE na celkové výrobě energie 13 %. Podle statistiky ministerstva obchodu a průmyslu se v roce 2011 hrubá výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů podílela na celkové tuzemské hrubé výrobě elektřiny 8,3 %. Podíl hrubé výroby tepelné energie z OZE se na celkové výrobě tepelné energie pohybuje zhruba okolo 8 %. Největší podíl na hrubé výrobě elektřiny mají fotovoltaické elektrárny (2,49 %), vodní elektrárny (2,24 %), biomasa (1,92 %). Bioplyn se na hrubé výrobě elektřiny podílí 1,06 %, z toho 0,83 % vytváří bioplynové stanice. Podíl na celkové hrubé výrobě tepla se odhaduje u biomasy na 6,5 %, u bioplynu 0,3 %, tepelných čerpadel 0,3 %, biologicky rozložitelného TKO 0,3 % a solárních termálních systémů 0,1 % (MPO, 2012). K 31. 12. 2012 bylo registrováno 481 bioplynových elektráren s celkovým instalovaným výkonem 363,24 MW. Podíl bioplynu na OZE činil 15,9 % (CzBA, 2012).

3.1.2 Biomasa

Biomasa je definována jako hmota organického původu, takže se pod tímto pojmem zahrnuje veškerá živá příroda. V souvislosti s využíváním energetické biomasy se rozumí rostlinnou biomasou především dřevo a různorodý dřevní odpad, resp. jiné energetické rostliny vhodné pro spalování v různých topeništích, jako jsou zemědělské produkty a jejich zbytky nebo cíleně pěstované energetické rostliny (Celjak, 2008).

Podle účelu použití existují tři základní formy biomasy:

- biomasa pevná, používaná především pro přímé spalování k vytápění budov,
- biomasa plynná, tedy bioplyn vznikající převážně v bioplynových stanicích,
- biomasa kapalná, využívaná jako pohonné hmoty v dopravě, tj. bionafta a biolih, které se nejčastěji označují jako biopaliva (Petříková, 2009). Legislativa v podobě Přílohy k nařízení vlády č. 80/2007 Sb. uvádí, které plodiny lze využít pro energetické účely.

Způsoby využití biomasy k energetickým účelům jsou následující:

- **termochemická konverze** (suché procesy) – spalování, zplynování, pyrolýza (energetický výstup: teplo vázané na nosič, generátorový plyn)
- **biochemická konverze** (mokrý procesy) – anaerobní fermentace, aerobní fermentace, alkoholová fermentace (energetický výstup: bioplyn, teplo vázané na nosič, etanol, metanol)

- **fyzikálně-chemická konverze** – esterifikace bioolejů (energetický výstup: metylester biooleje) (Pastorek a kol., 1999). Jednou z nejvýznamnějších vlastností energetické biomasy je její vlhkost charakterizovaná obsahem sušiny v biomase. Rozhraní mezi mokřými procesy (hmotnostní obsah sušiny je menší než hmotnostní obsah vody) a suchými procesy (hmotnostní obsah sušiny je větší než hmotnostní obsah vody) tvoří biomasa s 50 % hmotnostním podílem sušiny. Přestože existuje více způsobů využití biomasy k energetickým účelům, v praxi převládá ze suchých procesů spalování biomasy, z mokřých procesů výroba bioplynu anaerobní fermentací vlhké biomasy. Z ostatních způsobů dominuje výroba metylesteru mastných kyselin bioolejů získávaných v surovém stavu ze semen olejnatých rostlin (Pastorek a kol., 1999).

3.1.3 Bioplyn

Termín „bioplyn“ v posledních letech 20. století zcela zobecněl a stal se nejen běžně rozšířeným mezi technickou odbornou veřejností, ale i jistým synonymem něčeho ekologicky příznivého v laické veřejnosti. Definice bioplynu není zcela jednoznačná. Věcný význam slova „bioplyn“ napovídá, že by se mělo jednat o plyn produkovaný blíže nespecifikovaným biologickým druhem. Jsou to tedy plyny vznikající z biologických respektive biochemických procesů. Obecně je slovem „bioplyn“ míněna plynná směs methanu a oxidu uhličitého. Tyto složky by měly u kvalitního bioplynu převažovat, nebo lépe skládat se pouze z nich, avšak ve složení bioplynu je nutno počítat i s jinými plyny, které se mohou ve směsi vyskytovat z biologických pochodů (Straka a kol., 2006). Chemické složení bioplynu a hmotnosti normálního krychlového metru plynu jsou uvedeny v následující tabulce 3.

Tab. 3: Chemické složení bioplynu a hmotnosti normálního krychlového metru plynu

Plyn	Molekulová hmotnost	Měrná hmotnost [kg/m^3 (V_n)]
methan CH_4	16,0430	0,7168
oxid uhličitý CO_2	44,0100	1,9768
vzduch bez CO_2	28,96	1,2928
vzdušný dusík (vč. Ar)	28,016	1,2567
dusík čistý N_2	28,0134	1,2505
argon Ar	39,948	1,7839
kyslík O_2	31,9988	1,42895
vodík H_2	2,0159	0,08987
oxid dusný N_2O	44,0128	1,9780
sulfan H_2S	34,0800	1,5392
amoniak NH_3	17,0306	0,7717
chlorovodík HCl	36,461	1,6391

(Straka a kol., 2006)

3.1.3.1 Výroba methanu (CH_4)

Proces, při kterém anaerobní mikroorganismy rozkládají organické látky za tvorby methanu, se někdy také označuje obecným pojmem „methanizace“. Jde o výraz jak pro anaerobní stabilizaci kalů, tak pro anaerobní čištění odpadních vod a zpracování různých organických materiálů. Anaerobní proces je soubor dějů, při nichž směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá bez přístupu vzduchu organické látky přítomné ve zpracovávaných materiálech. Konečným produktem je stabilizovaná organická hmota obsahující i narostlou biomasu a dále plyn, obsahující hlavně CH_4 , CO_2 a v některých případech i H_2S , H_2 a N_2 . Anaerobní rozklad vyžaduje koordinovanou součinnost různých mikrobiálních skupin organismů, podle nich je možné tento proces rozdělit na následující čtyři fáze procesu: hydrolýzu, acidogenezi, acetogenezi a methanogenezi.

- **Hydrolýza** je rozklad makromolekulárních rozpuštěných a nerozpuštěných organických látek jako jsou např. polysacharidy, lipidy, proteiny na nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě pomocí extracelulárních hydrolytických enzymů (hydroláz).
- **Acidogeneze** je další rozklad produktů hydrolýzy na jednoduché organické látky, hlavně na nižší mastné kyseliny, alkoholy, CO_2 a H_2 pomocí acidogenních bakterií.

- **Acetogeneze** je tvorba kyseliny octové, vodíku a CO₂ z produktů předchozích fází acetogenními bakteriemi produkujícími vodík, dále tvorba kyseliny octové a CO₂ denitrifikačními a sulfátredukujícími bakteriemi a acetogenní respirace vodíku a CO₂ homoacetogenními bakteriemi.

- **Methanogeneze** je tvorba methanu z kyseliny octové acetotrofními methanogenními bakteriemi a z jednoduhlíkatých substrátů, a tvorba methanu z CO₂ a H₂ hydrogenotrofními methanogenními bakteriemi.

Uvedené fáze procesu jsou následné, při kontinuálním provozu však probíhají současně. Z hlediska teplotního režimu rozlišujeme methanizaci psychrofilní (5 až 27 °C), mezofilní (27 až 45 °C) a termofilní (45 až 60 °C) (Straka a kol., 2006).

Jako vstupní materiál do zemědělských bioplynových stanic se využívá kejda prasat, exkrementy hovězího dobytka či drůbeže a fytomasa v podobě kukuřice na siláž, cukrovky (především cukrovarnické řízky), posklizňových zbytků, trav z TTP a různých dalších energetických plodin. Každý organický materiál s vysokým obsahem těkavých látek může být využit pro výrobu bioplynu.

Tab. 4: Produkce bioplynu z hlavních složek organických látek

Materiál	Produkce bioplynu (1.kg⁻¹ organické sušiny)	Obsah methanu (%)
Uhlohydráty	790	50
Tuky	1250	68
Proteiny	700	71

(Pastorek a kol., 1999)

Výrobu bioplynu ovlivňují následující faktory:

- **Vlhkost materiálu** - Anaerobní fermentace probíhá teoreticky při vyšší než 50 % vlhkosti materiálu. Její přítomnost podmiňuje náběh první fáze procesu – hydrolýzy. Optimální hodnota obsahu sušiny pro kejdu se pohybuje mezi 8 – 12 %, pro slamnatou mrvu 22 – 25 %, pro čirok 28 – 34 %. Při nižších hodnotách se zvyšují technologické ztráty tepla, při vyšších hodnotách sušiny se začne proces pomalu brzdit pro nedostatečné množství vody.

- **Teplota fermentovaného materiálu** – Optimální teplotní pásma jsou vázána na různé kmeny bakterií (psychrofilní, mezofilní, termofilní). Při teplotě menší než 4 °C činnost „plynotvorných“ bakterií ustává, při překročení 60 °C dochází k inhibičním účinkům. V zařízeních pro zpracování zemědělské a komunální biomasy se nejčastěji používají mezofilní

teplotní režimy, v menší míře termofilní nebo kombinované. Psychrofilní pásmo teplot je využíváno při jímání bioplynu z velkých neregulovaných nádrží a lagun. Volba provozní teploty závisí na volbě režimu práce fermentoru, musí se přísně dodržovat, protože metanogenní bakterie jsou citlivé na prudké kolísání teplot.

- **Hodnota pH materiálu** – Pro dobrý náběh a provoz fermentoru je vyžadována hodnota pH materiálu od 4,5 do 8,0, optimum se mění s jednotlivými fázemi procesu. Metanogenní bakterie vyžadují pH 6,7 – 7,6. Vysoká kyselost materiálu (pH < 5) na ně působí inhibičně.

- **Poměr látek C : N** – Většina autorů vědeckých publikací o metanogenezi uvádí, že příliš vysoký obsah dusíkatých látek má inhibiční charakter. Za optimální poměr uhlíkatých a dusíkatých látek v materiálu je považován poměr 20 až 30 : 1. Lze ho upravovat míšením různých materiálů nebo chemickými přísadami.

- **Zamezení přístupu inhibitorů do materiálu** – Inhibiční účinky na metanogenní bakterie vykazují kyslík, vysoký obsah dusíkatých látek v poměru k uhlíkatým látkám, nízké pH a všechny baktericidní léčiva a podobně (Pastorek a kol., 1999).

Bioplyn vzniká z organických látek, jejichž základním stavebním kamenem je uhlík. Obsah organických látek je dán množstvím sušiny v substrátu, proto více sušiny znamená více bioplynu. Podle zkušeností z Německa z vyprodukovaných 10 t sušiny lze vyrobit 6000 m³ bioplynu s 50% obsahem methanu, což odpovídá 30 000 kW energie (Hermuth a kol., 2011).

U cukrového čiroku určeného pro bioplynovou stanici by měl být obsah sušiny v rozmezí 28-34 %, u silážní kukuřice je optimální obsah sušiny 30 – 35 %. Takový obsah sušiny ve sklizené hmotě zamezí odtoku silážních šťáv. Nižší sušina úzce souvisí s neproduktivními náklady na dopravu, kdy je přepravováno velké množství vody a celková ekonomika se prodražuje – snižuje se zisk. Nižší sušina souvisí i s nižší produkcí bioplynu – methanu na jednotku plochy, což opět negativně ovlivňuje ekonomický výsledek tohoto podnikání. Vyšší sušina má pro produkci methanu méně příznivé vlastnosti – obtížně fermentovatelný podíl ligninu a klesá degradovatelnost vlákniny (Bogaň, 2011).

3.2 Plodiny pro výrobu bioplynu

Vhodné vlastnosti pro výrobu bioplynu a nejčastěji využívané plodiny jsou kukuřice na siláž a cukrová řepa. Do bioplynového fermentoru lze také v podobě zelené hmoty přidávat některé druhy energetických trav jako jsou např. ovsík vyvýšený nebo psineček veliký. Okrajově lze využívat mladou fytomasu chrastice rákosovité, křídlatky, amarantu a konopí

setého. V posledních letech roste také význam čiroku, který by v určitých oblastech mohl částečně nahradit produkci kukuřice a pomoci rozrušit úzké osevnické postupy.

3.2.1 Kukuřice obecná (*Zea mays* L.)

Kukuřice je jednou z nejvýznamnějších obilnin světa. Původní je v tropických a subtropických oblastech Jižní a Střední Ameriky. Sběrem byla využívána již před 12 tisíci lety. Způsob její domestikace ve Střední Americe je jednou z největších záhad genetiky. Na rozdíl od ostatních kulturních plodin nejsou známy žádné mezistupně mezi divokým předchůdcem kukuřice a kulturní plodinou. Současné teorie předpokládají, že kukuřice „vznikla“ někdy mezi lety 4000 – 3000 př. n. l. Vedou se spory o tom, zda šlo o postupný proces nebo o „šťastnou událost“. S pěstováním kukuřice začali Aztékové, Mayové a Inkové (Prugar a kol., 2008).

Zimolka a kol. (2008) uvádí hypotézu, která poukazuje na původ kukuřice ve Střední Americe, kde se dosud nalézá největší rozmanitost jejích forem a rodů s ní nejbližší příbuzných (*Tripsacum a Euchlaena* – teosinta), které dávají možnosti vzájemného křížení. Za nejpravděpodobnější centrum domestikace kukuřice se považuje Mexiko a Peru. Do Evropy, Asie a Afriky se dostala po objevení Ameriky, přitom není jisté, zda byla do Evropy dovezena již z první Kolumbovy cesty (r. 1492) nebo až ze druhé (r. 1494). Z počátku se pěstovala v západní Evropě jako zvláštnost v zahradách. Během několika let se rozšířila do severní Afriky. Do malé Asie byla dovezena benátskými kupci, Turci ji rozšířili ve východní Evropě. V nových pěstivelských oblastech byla pojmenována podle zemí, odkud byla dovezena. Tak kolem poloviny 16. století se pěstovala v Evropě v zemích porobených Turky pod názvem turecká pšenice (dodnes na Moravě „turkyně“). U nás se pěstování kukuřice více rozšířilo až na začátku 20. století, zvláště se zaváděním hybridního osiva.

3.2.1.1 Druhy kukuřice

Botanický rod *Zea* je tvořen několika druhy, pro zemědělské využití je nejdůležitější *Zea mays*. Během staletí se ustálilo několik linií kukuřic, hodnocených jako konvariety (Prugar a kol., 2008).

- **Kukuřice obecná, tvrdá** (*Zea mays* convar. *indurata*) je velmi polymorfní a patří k nejstarším. Zrno má tvrdé, okrouhlé, lesklé, s moučnatým endospermem pouze ve střední části zrna. Okrajová část endospermu je sklovitá rohovitého vzhledu. Zahrnuje odrůdy ranější

s rychlejším růstem a vývojem v počátečních stadiích. Uvádí se též nižší výnos v porovnání s kukuřicí koňský zub. Je vyhledávána i pro širší využití (např. dokrmování vodní drůbeže).

- **Kukuřice koňský zub** (*Zea mays* convar. *indentata*). Zrno se vyznačuje nižší tvrdostí oproti kukuřici obecné. Má však nápadný tvar a strukturu. Má obvykle klínovitý tvar s malou jamkou nahoře. Po stranách je sklovitá a tvrdá, vnitřní a horní část endospermu je měkká a moučnatá. Jamka vzniká vysycháním endospermu při zrání zrna. Odrůdy náležející do této variety jsou zpravidla pozdnější než kukuřice obecná, méně odnožují, jsou však výnosnější. Většina dnes pěstovaných hybridů kukuřice vznikla z kukuřice obecné a koňského zubu.

- **Kukuřice polozubovitá** (*Zea mays* convar. *aorista*) vznikla křížením koňského zubu a kukuřice obecné a představuje přechodnou formu mezi těmito dvěma varietami. Jamka na vrcholu zrna není tak zřetelná jako u koňského zubu.

- **Kukuřice pukancová, praskavá** (*Zea mays* convar. *evarta*) tvoří velmi drobné zrno. Podle typu zrna se dělí na rýžovou – *oryzoides* se zobákovitě ukončeným, téměř průhledným zrnem, a perlovou – *gracillima*, která má zrno na vrcholu zakulacené, hladké, lesklé. Moučnatý endosperm se vyskytuje pouze zřídka, a to v blízkosti klíčku. Pražením zrno praská, oplodí a endosperm přitom jako bílá hmota několikrát zvětší objem a vyhrězává. Většina odrůd kukuřice pukancové má poměrně vysokou výživnou hodnotu.

- **Kukuřice cukrová** (*Zea mays* convar. *saccharata*) se po dozrání vyznačuje svaštělým endospermem sklovitého vzhledu, který je složen převážně z vodorozpuštěných glycidů (amyloextrin). Zrno je na lomu lesklé, má málo škrobu. Charakteristická svaštělost zrna se dostavuje až po dozrání, neboť chybí podpůrná rohovitá vrstva. Pro svou výživnou hodnotu se používá jako zelenina, kdy se sklízí v konzumní (voskově mléčné) zralosti. Tehdy má zrno okrouhlý tvar. Konzumuje se jako vařená nebo sterilovaná, ve sladkokyselém či slaném nálevu, nejčastěji slouží k přípravě salátů.

- **Kukuřice vosková** (*Zea mays* convar. *ceratina*) má zrno vzhledem i tvrdostí velmi podobné zrnům kukuřice tvrdé, od něhož se liší matným povrchem. Periferní část endospermu je neprůsvitná, s optickými vlastnostmi podobnými vosku. Polysacharidy jsou zde zastoupeny převážně dextryny. Je vhodná k technickým účelům.

- **Kukuřice škrobnatá** (*Zea mays* convar. *amylacea*). Zrno má nízký obsah bílkovin, naopak vysoký obsah škrobu, je tedy typickou kukuřicí škrobárenskou, případně vhodnou k výrobě lihu. Povrch zrna je matný, zrno má téměř výlučně moučný endosperm.

- **Kukuřice pluchatá** (*Zea mays* convar. *tunicata*) nemá hospodářský význam, slouží k botanickým a genetickým studiím. Rostliny jsou bohatě olistěny a silně odnožují. Od všech

uvedených variet se liší tím, že má zrna uzavřená ve zvětšených pluchách (Zimolka a kol., 2008).

3.2.1.2 Botanické znaky

Kukuřice vytváří svazčitý kořenový systém, jehož provazčité kořeny pronikají poměrně hluboko do půdy, podle stanovištních podmínek 2 – 3 m, a zajišťují zásobování vodou ze značné hloubky (Jančovič et al., 2005).

Převážná část jemných kořínků je však rozložena mělce v orniční vrstvě do 20 cm, kolem stébla v okruhu okolo 100 cm i více. Obdobně jako jiné obilniny má kukuřice vzpřímené dužnaté stéblo. Na povrchu je hladké. Dosahuje výšky (podle variet) od 120 do 300 i více centimetrů. Zúžuje se směrem nahoru. Je zásobním orgánem kukuřice, zprostředkovává spojení listů a kořenů. Je složené z článků (internodií), které se střídají s plnými kolénky (nody). Počet nadzemních článků a kolének je podmíněn délkou vegetační doby a stanovištními podmínkami. U současných hybridů jich bývá okolo 11 až 15. Článek nesoucí klas (samičí květenství) má rozšířené úžlabí, a aby udržoval rovnováhu stébla s narůstající hmotností klasu, bývá mírně odkloněn od vertikální osy rostliny na opačnou stranu, než se naklání klas. Z každého kolénka vyrůstají na stéble vstříčné listy, vytváří tak dvě svislé řady a chrání svými pochvami bazální části článků. Vrchol nejvyššího článku je zakončen latou (samčí květenství). Články stébla jsou vyplněny dřevem, čímž stoupá jeho pevnost. Listy jsou široké, dlouze kopinaté. Povrch čepele je mírně porostlý chloupky, na spodní straně hladký. Spodní část listu tvoří mohutnou pochvu, obklopující stéblo a chránící bázi jednotlivých článků. Pochva zároveň chrání úžlabní pupeny. V místě, kde se čepel spojuje s pochvou, na její vrchní straně, vyrůstá jazýček (ligula). Kukuřice netvoří ouška. Žlábkovité, šikmo vzhůru postavené listy umožňují plodině využít i nepatrných srážek (včetně rosy) a odvádět je ke kořenům. Stavbou květenství se kukuřice výrazně liší od jiných lipnicovitých druhů. Tvoří květy různopohlavní, jednodomé, sestavené po dvou do klásků (Zimolka a kol., 2008).

Samčí, prašníkové květy tvoří klásky uspořádané do lavy, samičí květy pestíkové tvoří palici. Samčí květenství – lavy – je umístěno na vrcholu rostliny, samičí se nachází ve střední části stébla, vyrůstá z úžlabí listů (Jančovič et al., 2005).

Samičí květenství je sestaveno do klasu (palice). Pestíkové květy vytvářejí dvoukvěté klásky, z nichž je plodný zpravidla jen vrchní klásek, kdežto spodní (až na výjimky, kdy může

mít vyvinutý pestík) je zakrnělý. Osu klasu tvoří klasové vřeteno, v jehož jamkách sedí samičí klásky uspořádané párovitě do podélných řad. Jejich počet je vždy sudý, obvykle od 8 do 18. Kulovitý semeník je zakončen dlouhou, nitkovitou, řídce obrvenou čnělkou, která je téměř po celé délce schopna opylení. Tyto čnělky (blizny) při kvetení vyčnívají z listenů, jež v počtu 4 – 5 – 12 obalují palici. Zrno je z botanického hlediska nažka, což je suchý jednosemenný plod, nepukavý, s tenkým oplodím. Tvar je rozličný. U některých kultivarů jsou zrna na palici hustě uspořádána, jsou proto zploštělá, jiné mají zrna uložena volněji, mohou být téměř kulovitá. Tvar zrna se mění i podle umístění na palici. Na bázi a na vrcholu jsou okrouhlejší, ve střední části zploštělejší (Zimolka a kol., 2008).

3.2.1.3 Chemické složení

Zrno kukuřice je významným zdrojem energie, krmivem a potravinou s velkou nutriční hodnotou. Je to dáno vysokou stravitelností všech přítomných živin. Nutriční hodnota je závislá na složení zrna, které se vlivem různých faktorů značně mění. Zvláště silný vliv mají půdní a klimatické podmínky, hnojení, hybrid, sklizeň, posklizňové ošetření i uskladnění zrna. Zrno kukuřice má podstatně vyšší krmnou hodnotu než ostatní obiloviny. Má značné množství škrobu, tuku a jen velmi málo vlákniny, a proto může významně ovlivnit zvláště výživu hospodářských zvířat. Převládající složkou jsou sacharidy (glycidy), hlavně škrob, na nějž připadá přibližně 60 – 70 %, na cukry 1,5 – 5 %, na dextriny 1 – 6 %, obsah vlákniny činí nejvýše 2 % (Zimolka a kol., 2008).

Prugar a kol. (2008) uvádí obsah sacharidů v sušině zrna 75 – 80 %. Dominuje sacharosa, zatímco škrob a dextrin zaujímají o něco menší podíl, v malých množstvích jsou přítomny ještě glukosa, fruktosa, maltosa a manitol.

Stupeň zralosti ovlivňuje složení komplexu sacharidů z hlediska jeho složek i celkového obsahu. Na začátku nalévání zrna je vyšší zastoupení rozpustných cukrů a méně škrobu, naopak ve zralém zrně převažuje obsah škrobu (Zimolka a kol., 2008).

Kukuřice obsahuje v průměru 12 % bílkovin. Jako většina rostlinných bílkovin jsou deficitní v obsahu esenciálních aminokyselin, především lysinu a tryptofanu. Má relativně vysoký obsah tuků (5 – 8 %) složených především z nenasycených mastných kyselin. Z vitaminů stojí za zmínku obsah vitamínu E a u žlutozrných odrůd též A (Prugar a kol., 2008). Průměrné složení zrna podle různých autorů je uvedeno v následující tabulce 5.

Tab. 5: Průměrné složení zrna kukuřice při 85 % sušiny (%)

Zdroj	Bílkoviny (N x 6,25)	Tuk	Sacharidy	Vláknina	Popeloviny
Schneider	9,3	4,0	68,4	1,9	1,6
Kozminová - Keretovič	9,9	4,4	67,2	2,3	1,0
Neumann	10,0	4,0	67,0	2,2	1,3

(Zimolka a kol., 2008)

3.2.1.4 Agrotechnika pěstování

3.2.1.4.1 Příprava půdy, klimatické a půdní podmínky, setí

Kukuřice je teplomilná rostlina. Zrno začíná klíčit při teplotách půdy 8 – 10 °C. Optimální teplota pro kvetení je 28 – 30 °C. Teplotní optimum pro tvorbu vegetativních orgánů je kolem 20 °C. Pro dosažení vysokého výnosu hmoty mají největší význam teploty koncem června, v červenci a začátkem srpna. Pro nasazení dostatečného počtu palic a jejich vývin jsou důležité teploty v srpnu a počátkem září. Nároky na celkovou sumu teplot jsou dané raností hybridu a pohybují se v rozmezí 1700 – 3200 °C. Výběr hybridů patří mezi nejdůležitější pěstitelská opatření. Vlivem šlechtitelského úsilí byly vyšlechtěny hybridy vhodné pro velmi rozdílné klimatické poměry. Číslo ranosti (FAO) určuje délku vegetační doby hybridu. Ty se rozdělují do několika znalostních skupin s ohledem na podmínky ČR. Rozdíl o 10 čísel FAO znamená rozdíl ve zralosti 1 – 2 dny, případně 1 – 2 % sušiny. Nároky na půdu má kukuřice mnohem menší než na teploty. Nevhodné jsou pro ni těžké a chladné půdy, neboť neumožňují včasné setí. Na lehkých půdách, nejsou-li pod závlahou, kukuřice trpí přísušky a vyžaduje více živin dodaných ve statkových hnojivech. Nároky na půdu má kukuřice tím větší, čím méně příznivé jsou podmínky, v nichž se pěstuje. Nevhodné jsou pozemky v mrazových kotlinách a erozně ohrožené pozemky (Vrzal a kol., 1995).

Současná výroba bioplynu v zemědělských bioplynových stanicích (BPS) je založena převážně na využívání kukuřice, která se šlechtí na výkonné odrůdy s vysokými výnosy nadzemní biomasy přímo pro účely BPS. V poslední době se ale začínají projevovat problémy, protože pěstování kukuřice je stále dražší a také prostor pro její umístění je již omezen. Po novelizaci zemědělského zákona nelze širokořádkové plodiny, včetně kukuřice, pěstovat na svazích se sklonem nad 7°, oproti dřívější možnosti do 13°. Nejčastější eroze vzniká právě na polích s kukuřicí, protože vzchází později a zpravidla ještě ani v červnu netvoří dostatečně zapojený porost. Tradiční a v podstatě jediné účinné opatření proti vodní

erozi je zatravňování svažitých pozemků. V poslední době se u nás mění orná půda na travní porosty až příliš rychle a ve velkém rozsahu, což může způsobit další problémy. Vzhledem k soustavné redukci stavů hospodářských zvířat, včetně skotu, je pak luční trávy nadbytek, neboť pro ni není dost konzumentů (Petříková, 2012).

Podle zprávy ÚZEI z roku 2011 jsou silně erozně ohrožené půdy na orné půdě na 11 tis. ha, plocha mírně erozně ohrožené o. p. je 258 tis. ha, tj. 10 % evidované výměry.

V našich podmínkách dosud většinou převažují tradiční technologie s orbou. Při pěstování kukuřice po obilninách předchází orbě podmítka. Ta se provádí v co nejkratší době po sklizni talířovými nebo radličkovými podmítači, podle podmínek do hloubky 6 až 12 cm. Po podmítce následuje střední orba do hloubky 22 cm, kterou jsou zpravidla do půdy zapravována organická a minerální hnojiva. Kvalitní orba by měla vytvořit podmínky pro minimální vstupy na pozemek v jarním období. V sušších oblastech se proto doporučuje urovnání hrubé brázdy již na podzim. Jarní příprava půdy musí zabezpečit rychlé prohřátí půdy, zajistit dostatek vzduchu pro klíčení osiva a současně šetřit půdní vodou. Hloubku přípravy půdy je nutné volit pouze do hloubky setí. Při přípravě se nesmí utvořit hroudy a nadměrně utužit půda. Příprava půdy se zahajuje ihned, jakmile to půdní podmínky dovolí. Vhodná je dělená příprava, která v první fázi zajistí urovnání a nakypření povrchu půdy, ve druhé fázi pak přípravu seťového lůžka. Používají se především brány, kombinátory nebo kompaktoři, nedoporučuje se používat smyky. Při používání minimalizačních technologií převládají postupy s mělkým, případně středně hlubokým zpracováním půdy kypřením radličkovým nebo talířovým nářadím na podzim a mělkým kypřením před setím. Vlivy různé intenzity zpracování půdy a hospodaření s posklizňovými zbytky na výnosy kukuřice jsou do značné míry závislé na půdních a klimatických podmínkách. V sušších a teplejších podmínkách je dosahováno stejných nebo i vyšších výnosů po minimalizačních technologiích. Naopak v chladnějších a vlhčích podmínkách není většinou výnosová reakce kukuřice na snížení intenzity zpracování půdy tak příznivá (Zimolka a kol., 2008).

Standardní hranice začátku setí je dána teplotou půdy 8 – 10 °C, která je zároveň optimální pro klíčení kukuřice. Tomu odpovídá termín od poloviny dubna do 10., resp. 15. května. Odumírání rostlin nastává při – 2 až – 3 °C (Jančovič et al., 2005).

Předčasný výsev před 15. dubnem může být v chladnějších oblastech na závadu z hlediska vzcházení rostlin. Rovněž opoždění výsevu po 10. až 15. květnu snižuje výnos obvykle o 15 i více procent a prodlouží termín dozrávání. Doporučená meziřádková vzdálenost je 70 až 75 cm. Vzdálenost rostlin v řádku se pohybuje v rozmezí od 12 – 15 do 30

cm. V klimatických podmínkách ČR se doporučená hustota porostů pohybuje od 7 do 11 rostlin na m² (Zimolka a kol., 2008).

Vrzal a kol. (1995) uvádí vzdálenost řádků pro kukuřici na siláž 50 cm a vzdálenost rostlin v řádku by neměla klesnout pod 16 cm. Hloubka výsevu podle použitého hybridu a půdy je 6 – 9 cm. Mělkěji vyséváme zejména na těžších, vlhčích a chladnějších půdách. Na půdách lehčích, sušších a u tří a čtyřlíniových hybridů zapravujeme osivo hlouběji. K výsevu kukuřice se dnes již téměř výhradně využívají přesné secí stroje, většinou pneumatické, které zajistí rovnoměrnou hloubku setí, požadovaný počet vysévaných semen a jejich rovnoměrné rozmístění na ploše. Při minimalizační technologii zpracování půdy se většinou používají speciální secí stroje, které umožňují podpovrchovou aplikaci minerálních hnojiv (tzv. hnojení pod patu) (Zimolka a kol., 2008).

3.2.1.4.2 Hnojení

Dusíkatým hnojením je nejvíce ovlivněn počet zrn v palici a hmotnost 1000 semen. Odběr fosforu v průběhu vegetace představuje u kukuřice téměř přímku s mírným stoupáním až do sklizně. U draslíku dochází k vrcholu příjmu ve fázi voskové zralosti. Tento prvek zasahuje do tvorby cukru a do syntézy škrobu, při jeho nedostatku dochází ke snížené syntéze organických látek. Pro dosažení požadovaného výnosu a kvality je potřeba zajistit vyrovnanou bilanci všech makrobiogenních i mikrobiogenních prvků. Počátek vegetace je u kukuřice charakterizován velmi pomalým růstem a také nízkým odběrem živin. Na tunu zrna a odpovídající množství slámy odčerpá kukuřice v průměru: 22 – 26 kg N, 4,4 – 6,6 kg P, 21 – 33 kg K, 4,3 – 7,1 kg Ca a 4 – 6 kg Mg. Dusík lze aplikovat v kejdě na podzim nebo na jaře. Při hnojení minerálními hnojivy je vhodné dávky dusíku dělit na základní hnojení před setím a na hnojení během vegetace za předpokladu, že se jedná o oblast vlhčí s vyšší hladinou podzemní vody. V oblastech aridnějších jsou dosahovány vyšší výnosy při jednorázovém zapravení dusíku nebo při kombinaci kejdy na podzim a minerálního hnojení na jaře (Prugar a kol., 2008).

Z organických hnojiv je nejčastěji používán chlévský hnůj. Na půdách méně úrodných s nedostatkem humusu, zejména po obilninách, na něj kukuřice reaguje obvykle kladně. Optimální dávky hnoje se pohybují v rozpětí od 30 do 40 t/ha⁻¹. Velmi dobře také reaguje na hnojení kejdou a močůvkou. Lze doporučit aplikaci 2 – 4 dávek statkových hnojiv s rychle uvolnitelným dusíkem (kejda, močůvka, hnůj, digestát z metanové anaerobní fermentace) s přihlédnutím k půdním a povětrnostním podmínkám. Nutné je dodržet nařízení, že celková

normativní dávka dusíku nesmí překročit pro kukuřici na zrno či na siláž 260 kg/ha⁻¹. Z tohoto důvodu je třeba dávky kejdy volit dle chemického složení (Zimolka a kol., 2008).

Pro dosažení výnosu sušiny 10 – 12 t/ha⁻¹ a při minimálním podílu palic 40 % je nutno pozemek dobře zásobit všemi živinami. Na vyprodukování uvedeného množství hmoty je zapotřebí kukuřici dodat 120 – 180 kg N, 30 – 45 kg P a 80 – 160 kg K na hektar (Vrzal et al., 1995). Zimolka a kol. (2008) dodává, že s ohledem na pokles emisí síry (asi 8,5 kg/ha⁻¹ na rok) je doporučováno použít při předseťové přípravě půdy i hnojiva se sírou. Na produkci 1 tuny zrna, by se mělo dodávat 3,1 – 3,5 kg síry na hektar.

3.2.1.4.3 Ochrana porostu

Kukuřice má v počátečních obdobích růstu velmi slabou konkurenční schopnost proti plevelům. Vzhledem k tomu, že je pěstována v širokých řádcích, trvá poměrně dlouho, než dojde k zapojení porostu. Teprve od té doby mohou rostliny kukuřice účinně konkurovat vzcházejícím plevelům. K nejčastěji se vyskytujícím druhům patří ježatka kuří noha, která může být v některých lokalitách nahrazována některým z bérů (sivý, zelený, přeslenitý). Dalšími pozdně jarními druhy v kukuřici hojně se vyskytujícími jsou merlíky, a to především merlík bílý, tuhý nebo v teplejších oblastech merlík zvrhlý. Dále to jsou laskavce, především ohnutý a zelenovlasý. Poměrně snadno se v kukuřici prosazují vytrvalé druhy plevelů, jako jsou pýr plazivý, pcháč oset a pelyněk černobýl. Ze skupiny přezimujících plevelů jsou to především kosmopolitní druhy – heřmánkovec přímořský, kokoška pastuší tobolka a penízek rolní. Základem nechemické regulace plevelů v porostu je především meziřádková kultivace (plečkování) za použití pasivní (nožové) či aktivní (rotační) plečky. Plevelé vyskytující se v řádcích kukuřice mohou být účinně eliminovány vláčením. Nejčastěji se používají prutové brány. Chemická ochrana spočívá v použití preemergentních a postemergentních herbicidů. K preemergentní aplikaci se využívají půdní herbicidy. Z triazinových herbicidů jsou v současné době registrovány přípravky s účinnými látkami terbuthylazine a S-metolachlor. Tyto přípravky jsou velmi selektivní ke kukuřici a lze jimi ošetřovat prakticky bez ohledu na její růstovou fázi. Můžeme také využít přípravky s účinnou látkou isoxaflutole, které se vyznačují účinností na velmi široké druhové spektrum plevelů a vysokou spolehlivostí. Postemergentní aplikaci herbicidů lze provádět až do fáze zhruba 6. listu kukuřice (dvouděložné plevelé do čtyř až osmi pravých listů, plevelné trávy do počátku odnožování). Ke klasické postemergentní aplikaci se používají především sulfonylmočoviny, jež vedle účinnosti na dvouděložné plevelé vykazují také vysokou účinnost na plevelné trávy,

především ježatku kuří nohu a pýr plazivý. V pozdějších růstových fázích je pro dosažení dostatečné účinnosti na dvouděložné plevely nutná tank-mix kombinace s účinnými látkami růstových herbicidů, případně použit směsné přípravky (Zimolka a kol., 2008). Vrzal a kol. (1995) uvádí jako efektivní a zároveň ekologické řešení využití kombinovaného způsobu ochrany proti plevelům. To znamená pásovou aplikaci herbicidu v řádcích kukuřice a meziřádkovou kultivaci.

K nejčastějším původcům houbových chorob patří houby z rodů *Fusarium*, *Alternaria*, *Helmintosporium*, *Diplodia*, *Rhizoctonia* a *Coletotrichum*. Některé houby např. z rodů *Fusarium* a *Coletotrichum* kontaminují kukuřičnou hmotu nebezpečnými mykotoxiny. V ochraně hraje důležitou roli agrohigiiena (nakládání s posklizňovými zbytky, u sněti hluboká orba), výběr hybridů odolných proti těmto chorobám, vyrovnaná výživa rostlin, dodržení střídání plodin a samozřejmě fungicidní moření osiva. Nejvýznamnějšími škůdci vzcházející kukuřice jsou drátovci, larvy tiplic, housenice mūr (osenice), květílka všežravá a larvy nově nastupujícího bázlivce kukuřičného. Ochrana je založena na insekticidním moření osiva, na použití granulátů nebo na řádkové kapkové aplikaci karbamátů. Další možností je ničení migrujících dospělců ve fázi kladení vajíček – v kukuřici lze využít ty insekticidy, které jsou registrovány pro ochranu proti zavíječi (s účinností na zde uvedené organismy jsou to hlavně pyretroidy). Důležitá je také agrohigiiena (rozbití posklizňových zbytků, postřikání zdrojem dusíku např. močůvkou a okamžité zapravení do půdy). Představitelé škůdců vzrostlých rostlin kukuřice jsou zavíječ kukuřičný, sviluška chmelová, třásněnky, kyjatky a mšice. Možnosti technologií ochrany je několik, liší se v účinnosti, nákladnosti i potenciálním nepříznivém vlivu na životní prostředí. Můžeme zmínit agrohigienická opatření, výběr odolné odrůdy a chemickou ochranu založenou především na pyretroidech, ale také biologickou ochranu. Biologická ochrana se využívá především proti zavíječi kukuřičnému v podobě aplikace bioregulátorů jako je např. parazitická vosička rodu *Trichogramma* prodávající svůj vývoj ve vajíčkách motýlů zavíječe (aplikují se kapsle obsahující tři stadia této chalcidky). Za přispění genetického inženýrství se nyní využívají geneticky modifikované hybridy kukuřice (Bt) (u nás se to týká pouze MON 810). Tato metoda je podle pětiletých výsledků ÚKZUZ na vlastních pozemcích a desetiletých výsledků na smluvních lokalitách stoprocentní. Ekologický dopad vzhledem k nemožnosti přenosu genů do jiného druhu rostliny a vysoké specifitě endotoxinu je minimální (limitně se blížíci nule) (Zimolka a kol., 2008).

3.2.1.4.4 Sklizeň

Nejvhodnější termín sklizně silážní kukuřice z krmivářského hlediska je na konci mléčné zralosti zrna (sušina rostliny 28 – 34 %), kdy končí syntéza škrobu v zrnech a je dosaženo nejvyšší koncentrace energie v celé rostlině. Z tohoto důvodu je vhodné na přelomených palicích sledovat tzv. mléčnou čáru, která velmi přesně koreluje se stupněm asimilace živin, zejména škrobu, a tím i se stupněm zralosti celé rostliny kukuřice. Pokud mléčná čára dosáhne 2/3 zrna, je vhodné začít se sklízni kukuřice na siláž. Co se týče silážní kukuřice na výrobu bioplynu, vyplývá z pokusů prováděných v Německu, že se zvyšující se zralostí celých rostlin nad 35 % obsahu sušiny výrazně klesá specifická schopnost tvorby methanu, při 30 % obsahu sušiny je pak kukuřice optimálně silážovatelná. Specifická výtěžnost methanu má své optimum mezi 30 – 35 % obsahu sušiny, proto má kukuřičná siláž v růstové fázi začátek vytváření palic pro tvorbu methanu evidentně příznivější poměr obsažených látek hrubého proteinu, tuku a složek hrubé vlákniny (celulózy, hemicelulózy, ligninu), jakož i škrobu a cukru než kukuřičná siláž rostlin ve fázi konec voskové zralosti (při podílu palic rostlin >55 % a obsahu sušiny >38 %). Příznivý model živin silážovatelných rostlin kukuřice je pro tvorbu methanu tedy v rozsahu 31 až 34 % sušiny. Sklizeň celé rostliny s obsahem sušiny <25 % není žádoucí (i když se vzrůstem sušiny nad 22 % specifická schopnost tvorby methanu klesá). Kukuřičná siláž totiž produkuje silážní šťávu a má sklon k vytváření zápachu (Zimolka a kol., 2008).

Při sklizni musíme dodržovat zásadu, že čím je nižší sušina, délka řezanky může být větší. Při sušině 27 % (mléčně vosková zralost) by délka řezanky měla být 20 – 25 mm. Sklizeň silážní kukuřice by měla být ukončena do příchodu prvních mrazíků. Již při teplotě -1 až -2 °C, trvá-li 3 – 4 hodiny, dochází ke spálení listů, rozkladu karotenu a ztrátě vody. Zmrzlá kukuřice se musí sklídit nejpozději do 2 – 3 dnů. Jinak jsou odumřelé rostliny napadány plísněmi a hnilobnými bakteriemi, což působí jako inhibitor fermentačních procesů. Při silážování zmrzlé kukuřice je nutno dbát na pečlivé a velmi krátké rozřezání hmoty a její důkladné udusání (Vrzal a kol., 1995).

Ke sklizni se využívají sklízecí řezačky, které jsou vybaveny řádkovým žacím ústrojím pro sklizeň celých rostlin kukuřice (Zimolka a kol., 2008).

3.2.2 Čirok obecný (*Sorghum bicolor* L.)

Rod čiroků (*Sorghum*) se řadí do čeledi lipnicovitých (*Poaceae*) a do podčeledi prosovitých (*Panicoidae*) (Hermuth, 2010). Představuje nejvýznamnější plodinu aridních oblastí schopnou růst i v limitujících podmínkách, kde se již jiným obilninám (např. kukuřici) nedaří. Je v celosvětovém měřítku v první desítku pěstovaných obilnin.

Původ a rozšíření čiroku není zcela známé. Vzniklo několik teorií, např. Doggett (1988) uvádí, že v Africe se vyvinul diploidní čirok bicolor (*Sorghum bicolor*) a v jihovýchodní Asii čirok typu propinquum (*Sorghum propinquum*). Teprve díky kontinentálnímu driftu, když se území nynější Indie připojila k Asii, došlo ke zkřížení čiroku bicolor a propinquum a vznikl tak tetraploidní čirok halepský (*Sorghum halepense* Pers.), který se považuje za výchozí botanický druh všech čiroků. Je to divoce rostoucí čirok, který se stal v subtropických krajinách úporným plevelem. Jeho primitivní jednoletou formou je sudánská tráva (*Sorghum halepense* f. *annuum*), původem ze Sudánu.

Jako kulturní plodina byl čirok využíván již před 5000 lety. Do Evropy byl dovezen v polovině 19. století a odtud se potom rozšířil i do Severní Ameriky. Světová plocha pěstování je cca 1,5 mil. ha, v Evropě 220 000 hektarů. V Evropě jsou největšími pěstiteli čiroku Francie, Itálie a Španělsko. V posledních letech je patrný posun pěstování čiroku i do severnějších oblastí (Francie, Maďarsko), kde existují programy šlechtění hybridů čiroků. Šlechtí se zejména na chladuvzdornost, ranost a snížení obsahu antinutričních látek v obilkách (Hermuth, 2010).

3.2.2.1 Druhy čiroku

Podle hlavních směrů využití čirok dělíme na čirok zrnový, technický či metlový, cukrový a sudánský (sudánská tráva).

- **Čirok zrnový** (*Sorghum vulgare* var. *eusorghum*) se pěstuje především na zrno. Na rozdíl od jiných druhů obsahuje málo taninu, proto je využíván ve výživě. Díky vysokému obsahu škrobu se hodí také k výrobě alkoholu (Stuchlík, 1951). K tomuto druhu čiroku řadíme odrůdy bicolor, kafir, caudatum, durra a guinea (Doggett, 1988).
- **Technický (metlový) čirok** (*Sorghum vulgare* var. *technikum*) má silně vyvinutou latu a využívá se na výrobu košťat a kartáčů.

- **Čirok sudánský** (*Sorghum vulgare* var. *sudanense*) má velký výnos biomasy, proto se uplatňuje pro energetické účely a jako krmivo v čerstvém i suchém stavu.
- **Cukrový čirok** (*Sorghum vulgare* var. *saccharatum*), na který se v diplomové práci zaměříme, se vyznačuje šťavnatostí stébla a vysokým obsahem cukru, a je proto jedním z nejlepších zelených krmiv vůbec (Stuchlík, 1951). Díky těmto vlastnostem se výborně hodí také jako silážní rostlina a v poslední době své uplatnění nachází i jako energetická plodina zpracovávaná v bioplynových stanicích.

3.2.2.2 Botanické znaky

Morfologická stavba všech čiroků je velmi podobná. Cukrový čirok je jednoletá rostlina se silně vyvinutou a hluboko kořenící kořenovou soustavou. Kromě hlavních kořenů se vytváří velké množství jemných vláskových kořenů. Čiroky vytváří ještě kořeny adventivní – vzdušné, které se zúčastňují také výživy rostliny. Adventivní kořeny se vytvářejí zpravidla na prvním, méně na druhém kolénku stébla (Hermuth, 2010).

Čirok je rostlina s bohatě rozvětveným kořenovým systémem, s plným stéblem vysokým 3-5 m o průměru 1,5-3 cm (dle odrůdy a prostředí). Plné stéblo, chráněné dlouze objímavými pochvami zvlněných plochých listů, šikmo obloukovitě odstávajících, je přepaženo několika kolénky. Články (internodia) mezi kolénky jsou vyplněny šťavnatou dužinou. Tato dužina mechanicky stéblo zpevňuje. Do doby kvetení je dřevina ve stéble šťavnatá a sladká, při dozrání vysychá. U každého stéblového kolénka se vytváří pupen, ze kterého může vzniknout nové stéblo (Stuchlík, 1951; Hermuth, 2010).

Listové čepele jsou ploché s žilnatinou rovnoběžnou s okrajem, jsou hladké, na líci s voskovitým povlakem a šikmo obloukovitě odstávají od stébla. Květenství čiroku cukrového je přeslenovitá lata a její tvar, velikost a kompaktnost se liší podle odrůd. Může být vzpřímená, nakloněná nebo překloušená, kolísavé délky 12-30 cm. Klásky jsou eliptické, různě dlouhé a různých průměrů, obvykle hřbetem dovnitř vyduté. Přisedlé klásky jsou obojaké, a tedy většinou plodné, kdežto stopkaté klásky jsou prašnickové (bez plodů). Soubor květů v latě začíná kvést od vrcholku, otevřené květy umožňují opylení cizím pylem. Obilka je obalena tenkou, bezosinnou pluškou, osinatou pluchou a vně tuhými plochami. Semena jsou oválného tvaru až eliptického a jsou různě veliká a zbarvená – od černé, hnědé, červené, žluté až po bílou, vyskytují se také dvoubarevná semena (Stuchlík, 1951).

3.2.2.3 Chemické složení a kvalitativní parametry biomasy čiroku

Čirok patří mezi rostliny typu C4 s vysokou fotosyntetickou aktivitou, které mnohem lépe využívají CO₂ především v sušších podmínkách, kdy tyto rostliny mají uzavřené průduchy. Jedná se o vysoce výnosnou plodinu, která je bohatá na sacharidy. Stébla obsahují hlavně sacharózu (až do 55 % v sušině) a glukózu (do 3,2 % v sušině), dále obsahuje celulózu (12,4 %) a hemicelulózu (10,2 %) (Hermuth a kol., 2011).

Chemické složení zrna (tab. 6) je u jednotlivých odrůd poměrně variabilní a jednotlivé odchylky se pohybují v řádu několika procent. Semena některých odrůd mají vyšší obsah tříslovin, což způsobuje zhoršení využitelnosti semen jako potravy či krmiva (Adamčík a kol., 2012).

Tab. 6: Průměrné chemické složení zrna čiroku

Složení	Celé zrna (%)	Endosperm (%)	Zárodek (%)	Oplodí (%)
Zastoupení	100	84,2	9,4	6,5
Škrob	73,8	82,6	13,4	34,6
Bílkoviny	12,3	10,5	18,4	6,0
Tuk	3,6	0,6	28,1	4,9
Popeloviny	1,6	0,4	10,4	2,0

(Adamčík a kol., 2012)

Skladba aminokyselin zrna čiroku podle různých autorů může být velmi variabilní v závislosti na genotypu a pěstitelských podmínkách. Lysin v běžných genotypech čiroku představuje v rozvojových zemích téměř 40 % doporučené dávky této esenciální aminokyseliny pro děti. Vysokolysinové genotypy mají zastoupení lysinu vyšší a i celkové složení aminokyselin nutričně příznivější. Jako negativní vlastnost se uvádí obsah taninu (proanthokyanidinu) a některých dalších antinutričních látek, které mohou nepříznivě ovlivňovat stravitelnost. Tyto antinutriční látky jsou vázány zejména na genotypy čiroků s hnědými obilkami. Obsahy jednotlivých látek mohou být značně rozdílné podle místa pěstování a pěstitelské praxe. Například obsah bílkovin silně ovlivňuje hnojení dusíkem. Zvyšuje zejména podíl prolaminové frakce, která se u čiroku nazývá kafirin. Tato frakce je chudá na lysin, arginin, histidin a tryptofan, naopak obsahuje hodně prolinu a glutaminu (Prugar a kol, 2008).

Dendy (1995) uvádí, že prolamin se může dále dělit na frakci II a III. Frakce III má negativní vliv na kvalitu bílkovin čiroku. Frakce II je nutričně lepší. Kukuřice a proso mají

přibližně 4 – 6krát více frakce II než III, zatímco čirok má dvakrát více frakce III než frakce II.

V podmínkách středních Čech byl zaznamenán u odrůd zrnového a cukrového čiroku průměrný obsah celkového dusíku 1,73 %, hrubého proteinu (N x 5,7) 9,83 %, bílkovinného N 1,56 % a podíl čistých bílkovin 91,36 %. Zájem o pěstování čiroku ve střední Evropě roste s ohledem na oteplování klimatu, možnosti využití ke krmným účelům a v lidské výživě pro možnost jeho uplatnění v bezlepkové dietě. Z tohoto pohledu je významné zastoupení jednotlivých frakcí bílkovin zrna čiroku, protože celiakálně toxické sekvence aminokyselin jsou přítomné v prolaminové frakci. Výsledky hodnocení skladby frakcí bílkovin vybraných genotypů čiroku zrnového a cukrového, vypěstovaných bez použití průmyslových hnojiv a pesticidů na pokusné stanici Katedry rostlinné výroby ČZU v Praze-Uhřetěvesi, jsou uvedeny v tab. 7 (Prugar a kol, 2008).

Tab. 7: Skladba frakcí bílkovin (frakcionace dle Osborna)

Odrůda / Frakce	Albuminy + globuliny (%)	Prolaminy (%)	Gluteliny (%)	Nerozpustný zbytek (%)
Čirok cukrový BAZ (VÚRV Ruzyně)	7,5	44,1	16,7	31,3
Čirok zrnový GK Zsófia F1 hybrid (VÚOB Szeged)	20,0	35,1	13,3	31,5
Čirok zrnový GK Zsófia (VÚOB Szeged)	21,3	36,9	11,5	30,0
Čirok zrnový bělosemenný Bianco (beztaninový) (VÚOB Szeged)	22,3	36,4	10,3	29,8
Čirok cukrový klasnatý (Seva Flora Valtice)	7,8	44,8	16,4	30,6

(Prugar a kol., 2008)

U čiroku rozhodující část výnosu tvoří stébla a listy; podíl laty, v případě sklizně porostu v době po vymetání, je zanedbatelný. U kukuřice však obvykle více než 50 % výnosu představuje palice s vysokým obsahem škrobu. Biomasa čiroku se vyznačuje vyšší koncentrací strukturálních polysacharidů a nižším obsahem dusíkatých látek. Obsah dusíkatých látek přibližně odpovídá travním silážím, ale energetická hodnota je vyšší. Kvalita biomasy je významně ovlivněna termínem sklizně. S dozráváním dochází k poklesu obsahu vodorozpustných sacharidů a dusíkatých látek a zároveň se snižuje stravitelnost. S postupným stárnutím se zvyšuje obsah vlákniny, ale její stravitelnost je vyšší než u kukuřice. Vysoký

podíl hemicelulózy je z krmivářského pohledu příznivý pro optimální funkci bachoru, neboť její množství a využitelnost přímo ovlivňuje počet bachorových mikroorganismů. Příznivé je složení biomasy i z hlediska energetického využití, neboť pro bioplynové stanice je žádoucí také vyšší podíl hemicelulózy a zároveň nižší obsah N-látek, které proces biometanizace zpomalují (Fuksa a Hakl, 2012).

3.2.2.4 Agrotechnika pěstování

3.2.2.4.1 Příprava půdy, klimatické a půdní podmínky, setí

Čirok cukrový není náročný na půdní podmínky. Vhodné jsou písčito-hlinité a hlinito-písčité půdy s neutrálním pH. Nevhodné jsou těžké a trvale zamokřené půdy a půdy s kyselou reakcí. Na těchto půdách je čirok ohrožen růstem plevelů, neboť zabraňují rychlému vyklíčení semene (Stuchlík, 1951).

Půdu je třeba připravit podobně jako pro obiloviny první skupiny. Vyhovuje půda zpracovaná podzimní hlubokou orbou a povrch pozemku se musí jemně upravit, protože semeno čiroku je drobné. Pro výsev je vhodná teplota půdy 12 až 15 °C. Čirok je teplomilnější než kukuřice, a proto je důležité naplánovat termín výsevu i s ohledem na možné poškození vzešlých rostlin pozdními jarními mrazíky. Rostlinu poškodí teplota – 2 až – 3 °C, maximum se pohybuje kolem 38 - 40 °C. I nejméně náročné čiroky vyžadují sumu teplot 2000 až 3000 °C. Proto se v současné době šlechtitelé zejména v Německu zaměřují na hledání odrůd s co nejnižšími teplotními nároky, k čemuž využívají tzv. chladové komory (Zimolka a Podrábský, 2012).

Optimální fotoperioda pro urychlení indukce kvetení je asi 10 – 11 hodin. Kratší nebo delší fotoperioda zpožďuje kvetení. Fotoperioda delší než 11 – 12 hodin stimuluje vegetativní růst a zpozdí kvetení (Wall and Ross, 1970).

S vodou ale rostlina hospodář lépe než kukuřice. Čirok lze pěstovat jako hlavní plodinu, kdy se vysévá od začátku do konce května nebo jako druhá následná plodina např. po ozimé předplodině (př. hybridní žito nebo jarní směska, které jsou sklizeny na zelenou hmotu). V osevním postupu je vhodné ho zařazovat jako kukuřici (Bogaň, 2011).

Hloubka setí je 2 - 3 cm. Hlubší setí se nedoporučuje, protože čirok má nižší energii vzcházení než kukuřice. Po setí není vhodné půdu válet a to především na těžších půdách, kde dochází k tvorbě půdního škraloupu. Výsevek je dán charakteristikou hybridu. Hustota porostu je 180 – 220 tis. rostlin na ha, průměrně 200 tis. rostlin na ha (7 kg.ha⁻¹). Hustším

porostem docílíme tenčího stébla a tím také vyšší podíl listů v silážní hmotě. Při stejném výsevku (rovnoměrnejší rozmístění rostlin na 1 m²) je výška rostlin v užších řádcích nižší o 15 – 20 %, průměr stébla je o 10 až 12 % vyšší a porost je méně náchylný na poléhání. Silážní hmota z hustšího porostu obsahuje méně vlákniny, je kvalitnější a lépe stravitelná. Cukrové čiroky se nejčastěji pěstují v řádcích s roztečí 25 - 75 cm. Z tohoto důvodu je možný i odlišný způsob jejich využití (Hodoval a kol., 2012).

Jančovič et al. (2005) doporučují pro cukrové čiroky meziřádkovou vzdálenost 40 až 60 cm. Bogaň (2011) uvádí meziřádkovou vzdálenost 30 až 75 cm. Čirok je velmi odolný k suchu. Jeho transpirační koeficient je 200 - 300 l na kg sušiny. U kukuřice je o 100 l vyšší.

3.2.2.4.2 Hnojení

Čirok je náročný na živiny. Hnojení je podobné jako u kukuřice. Výhodné je dodání dusíku ve formě statkových hnojiv. Celková dávka dusíku by se před setím měla pohybovat mezi 90 a 120 kg na hektar (Zimolka a Podrábský, 2012).

Hodoval a kol. (2012) uvádí, že vhodná je pomalu působící forma dusíku jako je LAV nebo močovina. Během vegetace se dále průmyslovými hnojivy nepřihnojuje. Organická hnojiva je možné aplikovat na podzim ve formě hnoje či kejdy se zaorávkou slámy. Během vegetace čirok velmi dobře reaguje na hnojení do řádku digestátem se zapravením do půdy.

Tab. 8: Doporučené dávky živin

Živina	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
Dávka (kg/ha)	140 - 160	60 - 80	120 - 150	30 - 50	15 - 30

(Bogaň, 2011)

Čirok cukrový má vysoký potenciál produkce zelené hmoty, jež dosahuje 120 – 150 t.ha⁻¹. Odběr živin sklizní při produkci 1 tuny sušiny (kg): 7 – 10,2 (N), 2,3 (P), 6,2 (K), 4,3 (Ca) a 1,5 (Mg) (Hodoval a kol., 2012).

3.2.2.4.3 Ochrana porostu

V počátečním období růstu lze odplevelení zabezpečit vláčením lehkými branami. Rostliny jsou v této době dostatečně pružné a nejsou branami poškozovány. Nejvhodnější doba je, když porost má výšku 10 – 12 cm, později by došlo k nevratnému poškození rostlin.

Čiroky začínají odnožovat již při výšce rostlin 40 – 50 cm. Chemické odplevelení pozemku je nutné provést preemergentní aplikací totálního herbicidu. V případě nutnosti ošetření během vegetace lze pak použít běžné přípravky např. na bázi MCPA nebo 2,4 D při výšce rostlin cca 15 cm. V případě rizika zaplevelení ježatkou, zvláště u čiroku pěstovaného na přímou sklizeň zrna nebo siláže, se v zahraničí nejvíce osvědčila preemergentní aplikace přípravku Gardoprim Plus Gold v dávce 4 l/ha. V České republice je tento přípravek registrován pouze na kukuřici. Zásadně se nepoužívají přípravky eliminující trávovité plevele (Hermuth, 2010; Bogaň, 2011).

Hodoval a kol. (2012) konstatuje, že pozdější výsevy začátkem června mají vliv na lepší konkurenceschopnost proti plevelům a to i vytrvalým. K nejčastěji se vyskytujícím plevelům patří pýr plazivý a pcháč oset. Na řadě pozemků není nutné porost ošetřovat postemergentně, jelikož rostliny rychle zaplní mezirádkový prostor a během vegetace velmi dobře konkurují plevelům. Vzhledem k malým výměrám pěstebních ploch v České republice je výskyt chorob a škůdců poměrně malý.

Bouma (2010) upozorňuje na zajímavou vlastnost čiroku, kterou je obsah alkaloidu durinu v mladých rostlinách čiroku, z něhož se strávením uvolňuje kyanovodík. To je také jeden z důvodů, proč nejsou ohrožovány škůdci. V Německu je čirok rozšířen spíše na jihu, kde mají zemědělci problémy s bázlivcem. Rostliny, které nejsou poškozovány hmyzem, také následně nejsou infikovány fuzárií. O čirok nejeví zájem ani divoká prasata.

V porostech se mohou vyskytovat i jiní škůdci jako jsou zavíječ kukuřičný, larvy kovaříka – drátovci nebo larvy chrousta obecného či mšice (Hermuth a kol., 2011; Hodoval a kol., 2012).

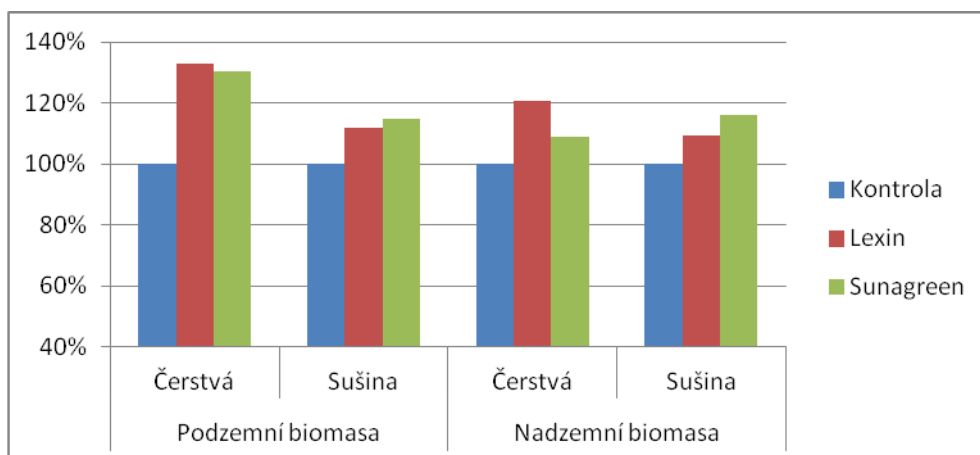
Ošetření během vegetace se neprovádí, jelikož zmínění škůdci se pohybují pod prahem škodlivosti. Z pokusů v roce 2010 se na květenství čiroků vyskytovala houbová choroba sněť semenná (*Ustilago sorghi*). Jedná se o nebezpečnou chorobu a jedinou ochranou je preventivní moření osiva před výsevem. Dále se na listech často vyskytuje *Puccinia purpurea*, která vytváří na listech červené tečky, později skvrny, které hnědnou a nekrotizují. Na stéblech, listech a kořenech se často vyskytuje *Bacilu Sorghii*. V místech infekce se vytváří skvrny, přičemž napadené rostliny se vyznačují intenzivnějším anthokyanovým zbarvením. Z houbových chorob se na čirocích ještě vyskytuje v menší míře *Helminthosporium turcicum* (Hodoval a kol., 2012).

Hermuth a kol. (2011) zmiňuje výskyt houby hladkoplodky obilné (*Colletotrichum graminicola*), která vytváří na listech malé oválné až nepravidelné skvrny. Proniká do cévních svazků a přerušuje tak transport živin a vody. Dále byla zjištěna listová skvrnitost způsobená

houbou *Alternaria*. Uvedený rod hub se může šířit zvláště v našich podmínkách v souvislosti s oteplováním klimatu.

Nejčastějším ošetřením je moření osiva, které zvyšuje odolnost proti komplexu houbových chorob přenosných osivem a půdou, které se spolupodílejí na hnilobách vzcházejících rostlin čiroku tzv. padání klíčnicích rostlin. Účinnost fungicidních mořidel je zabezpečena kombinací dvou účinných látek a to fludioxonilu a metalaxylu-M. Fludioxonil ze skupiny fenylpyrrolů je širokospektrální kontaktní fungicid s reziduálním účinkem. Je částečně přijímán semeny a omezeně translokován do klíčnicích rostlin. Fludioxonil svým účinkem napodobuje procesy, které probíhají v přírodě a eliminuje hospodářsky významné druhy hub z tříd *Ascomycetes*, *Basidiomycetes* a *Deuteromycetes* (*Fusarium spp.*, *Rhizoctonia spp.*, *Helminthosporium spp.*). Metalaxyl-M ze skupiny fenylamidů je systémový fungicid, který je velmi dobře přijímán semeny a translokován do všech částí klíčnicích rostlin. Účinkuje proti hospodářsky významným druhům hub ze třídy *Oomycetes* (*Pythium spp.*). V poslední době se objevila další možnost zvýšení odolnosti rostlin čiroku a to v podobě moření osiva auxinovými přípravky M-Sunagreen a Lexin. Jedná se o velmi účelné a levné ošetření společně s mořidlem, popřípadě následné přemoření již namořeného osiva. Moření osiva auxinovými stimulanty na povrch semen má pozitivní vliv na zvýšení nárůstu nadzemní a kořenové hmoty (graf 1). Dále má pozitivní vliv na rovnoměrné a rychlejší vzcházení. Rovnoměrné a rychlé vzcházení v praxi znamená větší odolnost porostů čiroků vůči zaplevelení v počátečních fázích vegetace a optimální využití aktuálních vláhových podmínek. Nárůst kořenové hmoty zvyšuje odolnost porostu vůči stresovým podmínkám a snižuje práh citlivosti rostlin k prsuškům. Díky bohatšímu kořenovému systému je také rychlejší reakce rostlin na dodané živiny a zvyšuje se i schopnost využití živin z půdní zásoby (Adamčík a kol., 2012).

Graf 1: Vliv moření auxinovými přípravky na nárůst nadzemní a kořenové biomasy klíčících rostlin čiroků (vyjádřeno v % neošetřené kontroly)



(Adamčík a kol., 2012)

Princip ochrany porostu bychom měli založit především na prevenci, která spočívá v managementu posklizňových zbytků, udržení biodiverzity, využití služeb šlechtitelů, kteří vytváří odolné odrůdy, použití přírodních predátorů a parazitů, kontrola zaplevelení pozemků a sledování rozvoje napadení porostu škůdci tak, aby rozhodnutí o tom, zda a kdy budou použity k ochraně pesticidy, bylo ekonomicky návratné (Doggett, 1988).

3.2.2.4.4 Sklizeň

Termín sklizně se odvíjí od obsahu sušiny sklizené hmoty, která by se měla pohybovat v rozmezí 28 - 34% (Hermuth a kol., 2011).

Sklizeň se provádí polovině října mezi mléčnou a voskovou zralostí. Při silážování je důležitá i správná délka řezanky. Délka je určena podle sušiny substrátu, tak aby došlo při dusání k maximálnímu vytěsnění vzduchu (Bogaň, 2011).

V našich podmínkách může být někdy problém dosáhnout obsahu sušiny vhodného pro silážování, a proto je vhodné se před zahájením pěstování ujistit, zda není vegetační doba vybrané odrůdy příliš dlouhá. U některých vysokých odrůd čiroků může nastat problém s vyšším obsahem ligninu, kterým musí rostlina vyztužit svá stébla, aby nepolehla. Cukrové čiroky se obvykle využívají jako jednosečné na siláž, v některých oblastech se tento druh používá i do pásového výsevu s kukuřicí (1:1-3). Díky jejich dobré fermentovatelnosti je vhodné použití vrstvy čiroku při závěru silážování kukuřice před uzavřením jam. Podíl zrna (pokud se stačí vytvořit) je nízký (Zimolka a Podrábský, 2012).

3.3 Porovnání kukuřice a čiroku

Bonardi et al. (2007) ve své studii popisuje, že v roce 2005 kříženci čiroku dosahovali vyšších výnosů ($30,43 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) než nejlepší hybridní kukuřice ($23,54 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Několik let studií přinesly podobné výsledky. Při anaerobní fermentaci se z kukuřice vyrobilo o 15 – 20 % více bioplynu než z čiroku, avšak vzhledem k vyšším výnosům čiroku, vyšly obě plodiny téměř stejně v množství vyprodukovaného bioplynu z 1 ha. Čirok je méně nákladný na pěstování především v oblastech, kde kukuřice vyžaduje zavlažování. Oba druhy by mohli těžit z genetického zlepšování.

Směs ozimého tritikale a hybridního a liniového žita Madillo Plus⁺ sklizená počátkem června na GPS poskytla 15 t sušiny z hektaru s výtěžností $4\,500 \text{ m}^3$ methanu. Následně zasetá směs čiroků Energie II složená z odrůd Mithril a Lussi pak dosáhla stejných hodnot. Roční zisk methanu z hektaru jejich kombinací tedy dosáhl $9\,000 \text{ m}^3$. Oproti tomu kukuřice setá v dubnu dala do 20 t sušiny a $7\,000 \text{ m}^3$ methanu. Jestliže se jednalo o pozdní červnový výsev, poskytla již jen 10 – 15 t sušiny a $4\,000 - 5\,000 \text{ m}^3$ methanu. Intenzivně pěstovaná, pětkrát sečená jetelotráva dávala při 15 t sušiny z hektaru $5\,000 \text{ m}^3$ methanu, energetické žito na zeleno sklizené koncem května při 10 t sušiny z hektaru zhruba $2\,500 \text{ m}^3$ methanu (Bouma, 2010).

Zatímco z jedné tuny kejdy o obvyklém podílu sušiny (5 – 7 %) lze reálně získat přibližně 100 kWh energie v podobě bioplynu, z jedné tuny kukuřičné siláže je to desetkrát více, tj. 1 MWh, a v případě oleje či tuku biologického původu až 3,5 MWh, což je 35-krát více energie na jednotku vstupu. Již při výnosu kukuřice $50 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ je energetický zisk $16 \text{ MWh}\cdot\text{ha}^{-1}$ v podobě elektrické energie. Takovému výtěžku nemůže konkurovat ani cukrovka a potenciál hustě setých obilnin v energetickém výnosu je výrazně nižší (Zimolka a kol., 2008).

Pozitivní výsledky a dobré vlastnosti čiroku nejsou využitelné jen pro bioplynové stanice, ale také z pohledu krmení skotu. Musíme vycházet z toho, že v této plodině je zdrojem energie stravitelná vláknina (hemicelulózy), na rozdíl od kukuřice, kde je to škrob. Čirok má velký význam jako doplňková plodina pro vliv na složky mléka. Ty se dělají z objemu. Čirok má hodně hemicelulóz, tedy stravitelné vlákniny, která je v batoru prekurzorem kyseliny octové, a ta je prekurzorem tuku. Jedovatý durin se ve starších rostlinách a siláži již nevyskytuje v detekovatelném množství. Do bioplynových stanic je plodina vhodná právě díky vyššímu obsahu hemicelulóz, menšímu obsahu dusíkatých látek a většímu množství vodorozpustných cukrů (Bouma, 2010).

4 MATERIÁL A METODY

V letech 2011 a 2012 byly založeny polní maloparcelkové pokusy tří odrůd čiroku cukrového (Bovital, Goliath, Sucrosorgo) a jedné bioplynové kukuřice (odrůda Atletico) Porost čiroku byl založen při meziřádkové vzdálenosti 25 cm, 50 cm a 75 cm a kukuřice na obvyklé vzdálenosti 75 cm. Velikost jedné sklizňové parcelky byla 15 m². Hnojení parcelek bylo provedeno podle ekologické výrobní hladiny a agrochemického rozboru půd (EVH a AZP).

4.1 Charakteristika pokusného stanoviště

Pokusné plochy stanice leží v katastru obce Červený Újezd směrem na západ od Prahy a rozkládají se na 50°04' severní šířky a 14°10' východní délky. Průměrná nadmořská výška je 405 m nad mořem. Nejvyšší bod 420 m je vrchol mírného svahu na jižním okraji intravilánu obce, nejnižším bodem je 390 m vysoká terénní deprese na jihovýchodním okraji území. Na ostatní části území převažuje rovinný terén, který podmiňuje dobrý zásak srážkových vod.

Zájmové území je součástí Bělohorské plošiny. Pozemek je zařazen do řepařské výrobní oblasti. Pokusné pozemky výzkumné stanice jsou situovány na východní straně katastru obce.

Na sprašovém substrátu se tvoří převážně hnědozem, méně hnědozemě illimerizované, černozemě illimerizované a hnědozemě slabě oglejené. Hloubka ornice je 28 – 40 cm. Ornice je šedohnědá, drobtovitá, hlinitá, s ojedinělými úlomky opuky, se středním až silným prokořeněním a biologickou činností. Půda má mírný obsah humusu, půdní reakce je neutrální, koloidní komplex je plně nasycen. Zájmové území není odvodňováno vodními toky. Substráty mají dobrou vododržnost a dobrou vnitřní drenáž.

Červený Újezd spadá do klimatického regionu mírně teplého, suchého. Průměrná roční teplota vzduchu činí 7,7 °C a průměrný roční úhrn srážek je 549 mm (standardní klimatologický normál 1961-1990). Za teplý půlrok (1.4. – 30.9.) je na tomto stanovišti průměrná teplota 13,9 °C a průměrný úhrn srážek 361 mm. Průměrná teplota vzduchu za chladný půlrok (1.10. – 31.3.) je 1,5 °C a průměrný úhrn srážek 188 mm. První mrazivý den se dostavuje v průměru 11. října. Na jaře se vyskytují mrazíky ojediněle koncem dubna.

4.2 Metodika řešení

Na Výzkumné stanici FAPPZ ČZU v Červeném Újezdě byly zakládány polní maloparcelkové pokusy tří odrůd čiroku cukrového (Bovital, Goliath, Sucrosorgo) a jedné bioplynové kukuřice (odrůda Atletico). Velikost jedné sklizňové parcelky byl 15 m². Čirok byl vyset ve standardním termínu výsevu (teplota půdy 12 °C) v meziřádkových vzdálenostech 25 cm, 50 cm a 75 cm. Kukuřice byla vyseta v meziřádkové vzdálenosti 75 cm. Od každé odrůdy bylo vybráno 10 reprezentativních rostlin, přibližně ve stejné fázi růstu. Byl stanoven výnos biomasy na ha a výnos sušiny na ha. Byly připraveny vzorky třech odrůd čiroku cukrového (Bovital, Goliath, Sucrosorgo) a kukuřice pro hodnocení produkce bioplynu a výtěžnosti methanu na laboratorní aparatuře Oxitop Control Merk.

Přehled sledovaných parametrů u čiroku

- a) výnos biomasy (t.ha⁻¹)
- b) obsah sušiny (%)
- c) výnos sušiny (t.ha⁻¹)
- d) produkce bioplynu (m³.ha⁻¹)
- e) obsah methanu v bioplynu (%)
- f) výtěžnost methanu (m³.t⁻¹, m³.ha⁻¹)

4.3 Stanovení obsahu bioplynu v sušině čiroku cukrového

V laboratorních podmínkách byly testovány odebrané vzorky čiroku cukrového z maloparcelkových pokusů. Na aparatuře Oxi Top byla stanovena produkce bioplynu.

Testování bylo prováděno na aparatuře Oxitop Control Merk. V trojím opakování byla fermentována odebraná sušina čiroků a digestát. Pro očkování fermentace byl použit digestát z bioplynové stanice ZD Krásná Hora.

Popis principu měření aparatury OxiTop®-Control AN 12

Měřicí systém Oxi Top tvoří snímací tlakové hlavice, řídicí jednotka, skleněné nádoby a třepací plato umístěné v klimaboxu. Tlakové hlavice s tlakovým čidlem na piezoelektrickém principu kontinuálně měří tlakové změny uvnitř fermentační lahve. Naměřené údaje jsou ukládány do vlastní paměti měřicí hlavice. Nashromážděná data se bezdrátově pomocí infračerveného paprsku transportují do operační paměti řídicí jednotky Oxi Top OC 110, která umožňuje jejich archivaci a předběžné vyhodnocení. Komunikace mezi řídicí jednotkou

a PC může probíhat dvěma způsoby – pomocí IR přenosu nebo přes komunikační rozhraní RS 232. Práce s naměřenými hodnotami v PC probíhá v 32 bitovém programu ACHAT OC, který je funkční pod operačním systémem MS Windows. Výstup dat je možný v MS Excel ve formátu .xls souborů.

Příprava materiálu

Jako substrát pro anaerobní digesci byly použity vzorky částí čiroku cukrového. Vzorky byly usušeny a rozemlety na velikost částic 0,5 mm. Materiál byl s digestátem fermentován v lahvích OXI TOP při teplotě 39 °C. Test probíhal v trojím opakování.

Nastavení parametrů 28 denního testu

Test trval 28 dní a parametry byly u všech vzorků shodné. Inkubace probíhala v klimaboxu při teplotě 39 °C. Tlakové rozmezí snímacích hlavic bylo 500 až 1 350 hPa s přesností určení tlaku + / - 1 %, časový interval snímání hodnot ze všech hlavic byl 4,5 minuty.

Průběh testů

Celkový test se skládá ze tří dílčích testů (P1, P2, P3).

Test P1 (fermentační) vychází z délky anaerobní fermentace 28 dní. Během testu je substrát fermentován anaerobními mikroorganismy při teplotě 39 °C. Změny tlaku plynů vzniklých rozkladem substrátu jsou automaticky zaznamenávány v intervalu 4,5 min.

Test P2 trvá 4 hodiny. Anaerobní fermentace je ukončena přidáním 2 ml 19 % HCl injekční stříkačkou přes gumový uzávěr lahve do substrátu. Okyselením dojde k vytěsnění oxidu uhličitého z kapalně fáze substrátu.

Poté se vypočítá počet molů CO₂ z kapalně fáze: (popisky vzorce)

$$n_{\text{CO}_2, l} = \left[\frac{p_2 \cdot (V_g - V_{\text{HCL}}) - p_1 \cdot V_g}{R \cdot T} \right] \cdot 10^{-4}$$

Test P3 trvá 24 hodin. Následuje po testu P2. Do pryžového zásobníku ve fermentační láhvi se injekční stříkačkou vstříknou 2 ml 30 % KOH, který na sebe naváže veškerý oxid uhličitý z plynné fáze (KOH + CO₂ => KHCO₃). Vyvázáním CO₂ z plynné fáze zůstane v celém objemu fermentační lahve pouze methan se zanedbatelným množstvím příměsí.

$$n_{\text{CO}_2, l / \text{CO}_2, g} = \left[\frac{p_2 \cdot (V_g - V_{\text{HCL}} - V_{\text{KOH}}) - p_1 \cdot (V_g - V_{\text{HCL}})}{R \cdot T} \right] \cdot 10^{-4}$$

kde: Δp = rozdíl tlaku [hPa] (koncový tlak – počáteční tlak)

V_g = objem fermentační láhve – objem fermentované kapaliny [ml]

p_1 = absolutní tlak plynu [hPa] před aplikací 19 % HCL

p_2 = absolutní tlak plynu [hPa] před aplikací roztoku KOH

p_3 = absolutní tlak plynu [hPa] po aplikaci roztoku KOH

R = plynová konstanta [$8,314 J / (mol \cdot K)$]

T = teplota při inkubaci [K] (použitá teplota 39 °C)

V_{HCL} = objem HCL [ml]

V_{KOH} = objem KOH [ml]

Lze vypočítat počet molů CO_2 v plynné fázi a odečtením od

$n_{\text{CO}_2, l, \text{CO}_2, g}$

Počet molů vyprodukovaného methanu:

$$n_{\text{CH}_4} = (n_{\text{CO}_2, \text{CH}_4} + n_{\text{CO}_2, l}) - n_{\text{CO}_2, \text{CO}_2, g}$$

Celkový počet molů plynů transportovaného uhlíku:

$$n_{\text{CO}_2, \text{CH}_4} + n_{\text{CO}_2, l} = n_c$$

Zjistíme-li některou z klasických metod obsah uhlíku v původním organickém materiálu a v materiálu po skončené fermentaci, lze ze zjištěného n_c vypočítat stupeň rozložení substrátu a sestavením látkové bilance C celý proces zkontrolovat. Pokusným organickým materiálem je čirok cukrový.

Kvantitativní a kvalitativní stanovení maximální produkce methanu vychází z výsledků všech 3 dílčích testů (P_1 , P_2 , P_3). Pro výpočet je použito třech vzorců, vycházejících z principu stavové rovnice pro výpočet molárního množství plynu.

Při výpočtu vycházíme ze stavové rovnice

$$n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T}$$

kde: n = počet molů plynu

V = objem plynu [m^3]

P = tlak plynu [hPa]

T = teplota při inkubaci [K] (použitá teplota $39\text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow 312,15\text{ K}$)

a provedeme výpočet molů CO_2 a CH_4 v plynné fázi fermentačních lahví:

$$n_{\text{CO}_2, g / \text{CH}_4} = \left[\frac{\Delta p \cdot V_g}{R \cdot T} \right] \cdot 10^{-4}$$

Fermentace při $39\text{ }^\circ\text{C}$ a nepřetržitým mícháním lahví v klimaboxu probíhá 28 dnů, tlakové rozmezí snímacích hlavic $500 - 1\ 350\text{ hPa}$ a časový interval snímání tlakových změn $4,5\text{ min}$.

Výpočet čisté produkce uhlíku se stanoví ze vztahu: $1\text{ mol CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4$ (1 mol C je vždy 12 g = molární hmotnost C je $12\text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$). Obsahují vždy 12 g uhlíku. Rovnice pro výpočet čisté produkce uhlíku v plynném prostoru (C_H) je dána rovnicí

$$C_H = \left[\frac{12 \cdot 10^3 \cdot \Delta p \cdot V}{R \cdot T} \right]$$

kde: C_H = čistá produkce uhlíku v plynném prostoru [mg]

Závěrem této metodické části je nutno upozornit, že veškeré postupy popisované v této práci jsou určeny pro laboratorní podmínky.

Použité chemikálie

- Titrační roztok 2N NaOH
- Titrační roztok 2N HCl
- 30 % KOH
- 19 % HCl
- Destilovaná voda
- Digestát
- Vysušené vzorky čiroku

4.4 Přehled sledovaných variant pokusu

Tab. 9: Přehled variant pokusu

	Varianta
1.	Bovital 25 cm
2.	Bovital 50 cm
3.	Bovital 75 cm
4.	Goliath 25 cm
5.	Goliath 50 cm
6.	Goliath 75 cm
7.	Sucrosorgo 25 cm
8.	Sucrosorgo 50 cm
9.	Sucrosorgo 75 cm
10.	Atletico 75 cm - kukuřice

4.5 Přehled pracovních operací

Tab. 10: Pěstitelská technologie 2011

Pracovní operace	Termín aplikace
Herbicidní ošetření - Roundup Rapid 4 l/ha preemergentně	10. 5. 2011
Setí pokusu	17. 5. 2011
Hnojení - LAV 27 (290 kg LAV/ha u čiroku)	17. 5. 2011
Hnojení - LAV 27 (540 kg LAV/ha u kukuřice)	17. 5. 2011
Mechanické pletí	15. 6. 2011
Ruční sklizeň a odvoz vzorků na technologický rozbor	4. 10. 2011

Tab. 11: Pěstitelská technologie 2012

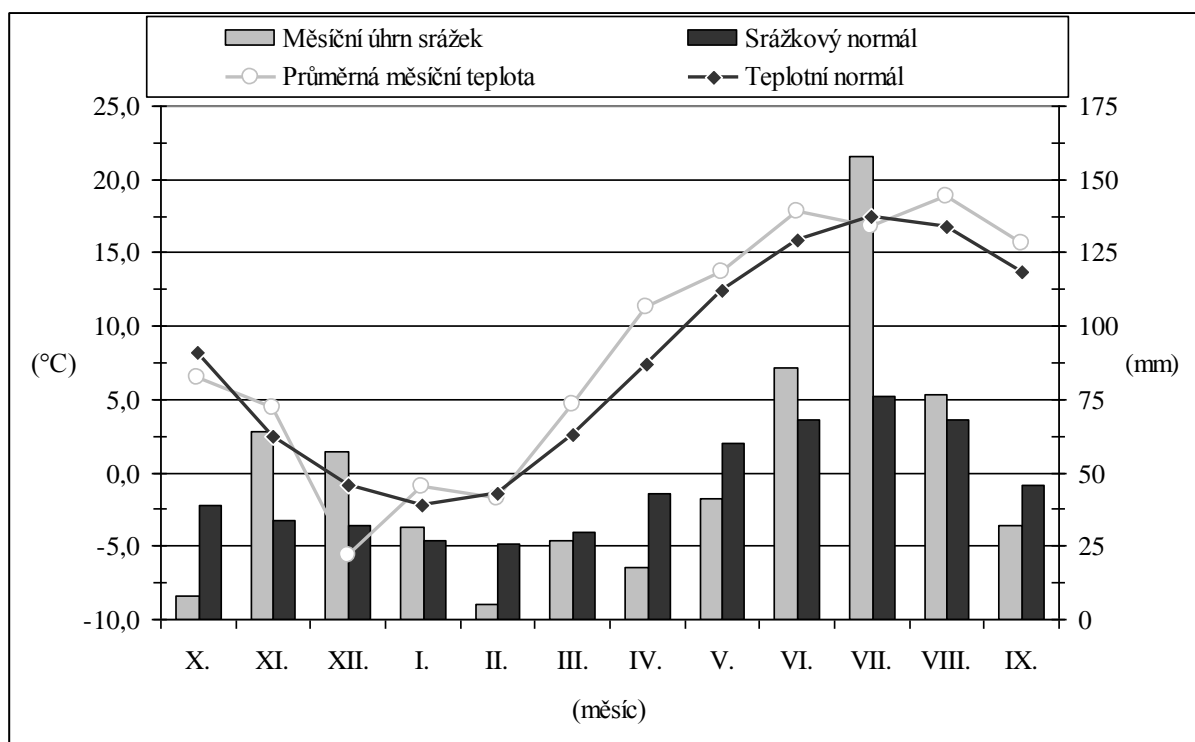
Pracovní operace	Termín aplikace
Herbicidní ošetření - Roundup Rapid 4 l/ha preemergentně	10. 5. 2012
Setí pokusu	17. 5. 2012
Hnojení - LAV 27 (290 kg LAV/ha u čiroku)	17. 5. 2012
Hnojení - LAV 27 (540 kg LAV/ha u kukuřice)	17. 5. 2012
Mechanické pletí	15. 6. 2012
Ruční sklizeň a odvoz vzorků na technologický rozbor	4. 10. 2012

4.6 Charakteristika počasí na pokusném stanovišti

Tab. 12: Meteorologické údaje stanoviště Červený Újezd za rok 2010 / 2011

Agrometeorologický rok 2010/2011	Hodnocení			
	Δt	teplotní	%	srážkové
Říjen	-1,7	Podnormální	20	Podnormální
Listopad	1,9	Silně nadnormální	188	Silně nadnormální
Prosinec	-4,9	Silně podnormální	179	Nadnormální
Leden	1,3	Normální	116	Normální
Únor	-0,4	Normální	19	Silně podnormální
Březen	2,0	Normální	89	Normální
Chladný půlrok	-0,3	Normální	102	Normální
Duben	3,9	Mimořádně nadnormální	42	Podnormální
Květen	1,3	Normální	69	Normální
Červen	1,9	Silně nadnormální	126	Nadnormální
Červenec	-0,7	Podnormální	208	Silně nadnormální
Srpen	2,1	Silně nadnormální	113	Normální
Září	1,9	Nadnormální	70	Normální
Teplý půlrok	1,7	Mimořádně nadnormální	114	Normální
AMT rok	0,7	Nadnormální	110	Normální

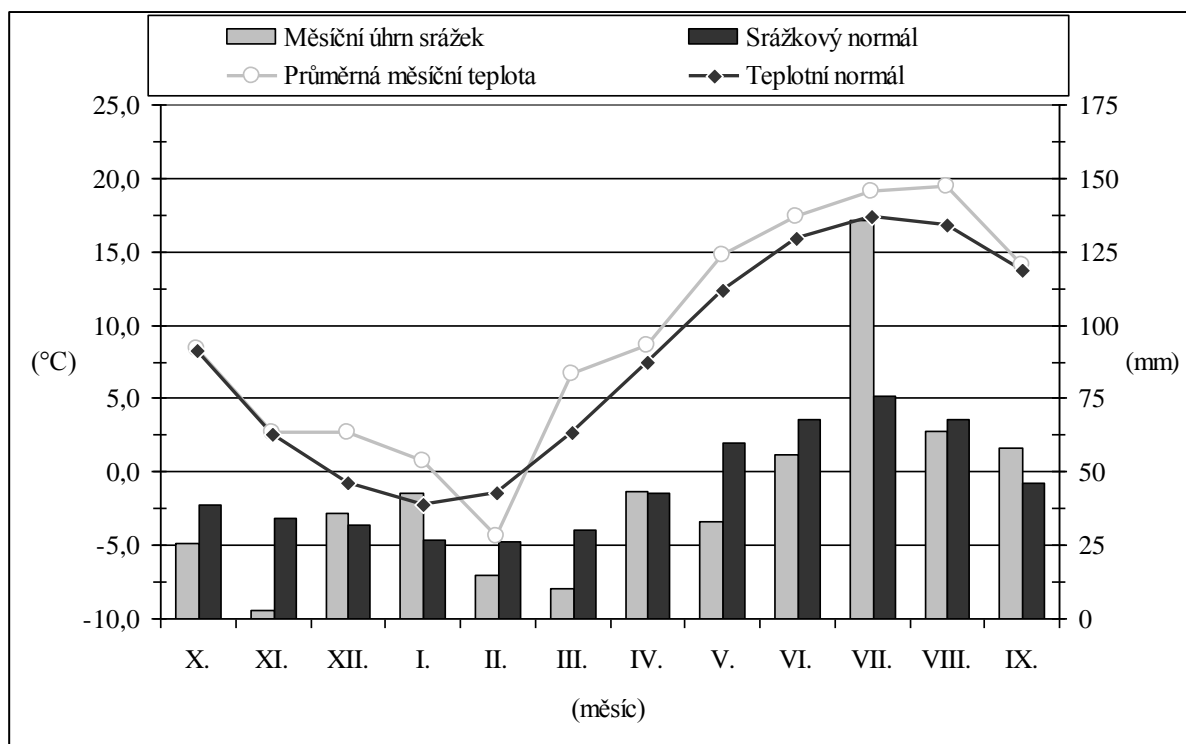
Graf 2: Porovnání agrometeorologického roku 2010 / 2011 se standardními klimatologickými normály



Tab. 13: Meteorologické údaje stanoviště Červený Újezd za rok 2011 / 2012

Agrometeorologický rok 2011/2012	Hodnocení			
	Δt	teplotní	%	srážkové
Říjen	0,2	Normální	66	Normální
Listopad	0,2	Normální	9	Mimořádně podnormální
Prosinec	3,5	Silně nadnormální	113	Normální
Leden	2,9	Nadnormální	157	Nadnormální
Únor	-3,0	Podnormální	57	Podnormální
Březen	4,1	Mimořádně nadnormální	34	Podnormální
Chladný půlrok	1,3	Nadnormální	70	Normální
Duben	1,2	Normální	101	Normální
Květen	2,4	Nadnormální	55	Podnormální
Červen	1,5	Nadnormální	82	Normální
Červenec	1,7	Silně nadnormální	179	Silně nadnormální
Srpen	2,6	Mimořádně nadnormální	94	Normální
Září	0,3	Normální	127	Normální
Teplý půlrok	1,6	Mimořádně nadnormální	108	Normální
AMT rok	1,4	Silně nadnormální	95	Normální

Graf 3: Porovnání agrometeorologického roku 2011 / 2012 se standardními klimatologickými normál



4.7 Charakteristika odrůd čiroků

Odrůda Bovital

Bovital je raný hybrid silážního čiroku vhodný k pěstování ve všech výrobních oblastech, s dobrým obsahem sušiny a vysokým výnosem. Je ideální pro výrobu biomasy po obilovinách sklizených na GPS. Velmi dobře snáší lehké a písčité půdy. Je mimořádně odolný k průsuškům a dobře snášenlivý v monokultuře. Výška porostu dosahuje 3,5 - 4,5 m. Doba výsevu je ideální nad 14 °C, hloubka setí 2 – 4 cm. Doporučený výsevek při raném setí je 200 – 250 tis. zrn/ha, při pozdním setí 250 000 zrn/ha. Má vysokou odnoživost, při raném setí je možno ho využít jako vícesečný.

Odrůda Goliath

Goliath je raný hybrid na výrobu biomasy pro bioplynové stanice. Má vysoký výnos suché a zelené hmoty i na suchých lokalitách. Je vhodným přerušovačem kukuřičného sledu na farmách s vysokým podílem kukuřice. Setí v polovině až koncem května, při teplotě půdy nad 12 °C. Jako předplodinu je možno využít silážní žito na silážní biomasu nebo zelené krmění. Optimální hustota 18 – 22 ks.m², hloubka setí 2 – 4 cm, šířka řádků 20 – 75 cm (optimálně 40 – 50 cm, u širších řádků snížit výsevek). Je citlivý na květnové a červnové mrazíky nebo ochlazení v průběhu vývoje. Počáteční vývoj je velmi pomalý a největší nárůst je od začátku srpna. Sklizená hmota obsahuje malé množství semen, silážní hmota se hůře sešlapává a je vhodné při plnění silážního žlabu vrstvit společně s kukuřicí.

Odrůda Sucrosorgo

Sucrosorgo má mimořádnou plasticitu. Tato odrůda má středně pozdní ranost. Je extrémně suchovzdorný, 100 % zabezpečuje výnos na suchých stanovištích. V našich podmínkách fyziologicky dozrává a vytváří latu se semeny. Semena při zrání nevypadávají z laty. Má vysoké výnosy (až 100 t) 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 dvojplodinu.

4.8 Charakteristika odrůdy kukuřice

Odrůda Atletico

Atletico je tříliniový (Tc), středně raný hybrid (číslo ranosti cca 290 S). Rostliny jsou vysoké až velmi vysoké, palice nasazeny středně vysoko až vysoko, počet řad zrn středně vysoký až vysoký, typ zrna tvrdý až mezityp. Výnos celkové suché hmoty je velmi vysoký, výnos celkové zelené hmoty velmi vysoký, obsah škrobu nízký, stravitelnost - ELOS (de Boever a kol., 1986, stanovena s využitím NIRS) středně vysoká až nízká, stravitelnost - IVDOM (Tilley and Terry, 1963, stanovena s využitím NIRS) středně vysoká až nízká. Je určen pro pěstování na siláž v zemědělských výrobních oblastech kukuřičné a řepašské. Má výbornou pevnost stébla a odolnost proti kořenovému poléhání. Patří mezi novou generaci hybridů kukuřice vyšlechtěných na výrobu bioplynu.

4.9 Zpracování výsledků

Výsledky byly hodnoceny pomocí statistického programu Statgraphics Plus for Windows 5.1 (firmy Manugistics - Maryland, USA). Použity byly metody analýzy rozptylu.

Analýza rozptylu

K vyhodnocení výsledků byla použita vícefaktorová a jednofaktorová analýza rozptylu (Multifactor Analysis of Variance, One-Way Analysis of Variance). Pro podrobnější vyhodnocení výsledků analýzy rozptylu, byla použita Tuckeyho metoda mnohonásobného porovnávání. Pomocí těchto metod mnohonásobného porovnávání, které umožňují testovat všechny dvojice souborů, jsme zjistili, které z testovaných souborů se od sebe statisticky významně liší. Ve všech hodnoceních byl použit 95 % koeficient spolehlivosti ($\alpha = 0,05$). Pro větší přehlednost průkaznosti rozdílů jsou průměrné hodnoty v tabulkách označené písmeny (a, b, c). Průměrné hodnoty označené odlišnými písmeny jsou statisticky průkazně odlišné a naopak stejná písmena označují varianty, které nejsou průkazně odlišné na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ a vyšší. V tabulkách je dále uvedena hodnota F-testu a hodnota $d_{amin.}$, která vyjadřuje minimální průkaznou diferenci mezi hodnocenými variantami.

5 VÝSLEDKY

Tato kapitola obsahuje dosažené výsledky pokusů, jejich vyhodnocení a shrnutí. Hlavními sledovanými ukazateli jsou výnosy biomasy a sušiny, produkce bioplynu a výtěžnost methanu třech odrůd čiroku cukrového (Bovital, Goliath, Sucrosorgo) a bioplynové kukuřice (Atletico). Výsledky jsou uvedeny za rok 2011 a 2012 a dále průměrné výsledky za oba roky.

Byl sledován vliv jednotlivých odrůd čiroku a meziřádkových vzdáleností na výnos biomasy, výnos sušiny, produkci bioplynu a výtěžnost methanu. Dále byly porovnávány výnosové a kvalitativní parametry mezi čirokem a kukuřicí.

U čiroku a kukuřice byly sledovány následující parametry – výnos biomasy ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$), výnos sušiny ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$), obsah sušiny (%), produkce bioplynu ($\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$), obsah CH_4 v bioplynu (%), výtěžnost CH_4 ($\text{m}^3\cdot\text{t}^{-1}$ a $\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$). Hlavními výnosovými a kvalitativními ukazateli jsou výnos biomasy ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$), výnos sušiny ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$), produkce bioplynu ($\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) a výtěžnost CH_4 ($\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$).

5.1 Vliv odrůdy čiroku na výnosové a kvalitativní ukazatele

Z hlediska výnosových a kvalitativních ukazatelů byl pro čirok cukrový příznivější rok 2012, kdy bylo dosaženo lepších výsledků. V obou pokusných letech dosahovaly nejvyššího výnosu biomasy odrůdy Sucrosorgo a Goliath. V průměru dvou let dosáhla odrůda Sucrosorgo $71,52 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ biomasy a odrůda Goliath $70,74 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Rozdíl mezi nimi nebyl statisticky průkazný. Nejvyšší výnos sušiny, produkci bioplynu a výtěžnost CH_4 ($\text{m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) měla v obou letech odrůda Goliath. Výnos sušiny v průměru dvou let dosahoval u odrůdy Goliath $21,49 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, Sucrosorgo se svými $17,82 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ mírně zaostávalo zhruba o 17 %. Průměrnou produkcí bioplynu ($8\,305 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) a methanu ($5\,234 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) převýšil Goliath odrůdu Sucrocorgo o $1\,289 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ bioplynu a $958 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ methanu. Nejméně produktivní ve všech výnosových a kvalitativních ukazatelích byla odrůda Bovital, která byla ve výnosu biomasy o 38 % horší než nejproduktivnější odrůda. Produkce bioplynu byla nižší o 52 % a u výtěžnosti methanu dokonce o 56 % oproti odrůdě Goliath. Průměrný obsah sušiny u odrůdy Goliath je 30,28 % a u Bovitalu 25,55 %. Přestože odrůda Sucrosorgo má průměrný obsah sušiny pouze 24,99 %, měla větší výnos sušiny o $6,65 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ než Bovital (tab. 16).

Z dosažených výsledků je patrné, že vliv odrůdy čiroku na výnos sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu byl v roce 2011 i 2012 jednoznačně prokázán. Statisticky prokázán nebyl pouze rozdíl ve výnosu biomasy mezi odrůdami Goliath a Sucrosorgo.

5.2 Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnosové a kvalitativní ukazatele odrůd čiroku

Odrůda Bovital dosahovala nejlepších výsledků ve výnosu biomasy ($46,40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a ve výtěžnosti CH_4 ($2534 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) při meziřádkové vzdálenosti 25 cm (graf 16 a 17). Nejvyšší výnos sušiny ($11,86 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) měla na 50 cm, ale rozdíl oproti 25 cm nebyl statisticky průkazný. U produkce bioplynu nebyl vliv meziřádkových vzdáleností na odrůdu statisticky prokázán (tab. 23). Statistická průkaznost by se projevila při minimálním rozdílu $738,133 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$.

Odrůda Goliath vykazala nejlepší výsledky na 25 cm (graf 18 a 19). Výnos biomasy byl $77,93 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, výnos sušiny $24,13 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, produkce bioplynu $9\,482 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ a výtěžnost CH_4 $6\,313 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$. Rozdíl mezi 25 cm a 50 cm nebyl statisticky průkazný ve výnosu biomasy, výnosu sušiny a v produkci bioplynu.

Odrůda Sucrosorgo rovněž dosáhla nejvyšších hodnot při rozteči řádků 25 cm (graf 20 a 21). Výnos biomasy byl $80,87 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, výnos sušiny $19,31 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, produkce bioplynu $7\,543 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ a výtěžnost CH_4 $4\,949 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$. Rozdíl mezi 25 cm a 75 cm se statisticky neprokázal u produkce bioplynu a také rozdíl mezi 50 cm a 75 cm ve výtěžnosti methanu (tab. 25).

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat, že nejlepší meziřádkovou vzdáleností pro pěstování čiroku k produkci methanu je 25 cm. U odrůdy Bovital se v pokusech osvědčila také meziřádková vzdálenost 50 cm.

5.3 Vliv odrůdy čiroku a meziřádkové vzdálenosti na výnosové a kvalitativní ukazatele

Pokud bychom zkoumali vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy, výnos sušiny a na produkci bioplynu a výtěžnost methanu s přihlédnutím k dané meziřádkové vzdálenosti, budou výsledky následující.

Při meziřádkové vzdálenosti 25 cm se ve výnosu biomasy ($80,87 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) nejvíce osvědčila odrůda Sucrosorgo. Druhý nejvyšší výnos biomasy měla odrůda Goliath ($77,93 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), která také prokázala nejlepší výsledky ve výnosu sušiny ($24,13 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), produkci

bioplynu ($9\,482\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) a methanu ($6\,313\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$). Odrůda Sucrosorgo měla o 20 % nižší výnos sušiny a produkci bioplynu, výtěžnost methanu o 22 % nižší než odrůda Goliath (graf 10 a 11). Odrůda Bovital měla nejhorší výsledky, v produkci methanu měla až o 60 % nižší výtěžnost než odrůda Goliath.

Při meziřádkové vzdálenosti 50 cm dosáhla nejlepších výsledků ve všech sledovaných ukazatelích odrůda Goliath (graf 12 a 13). Avšak hodnoty jednotlivých ukazatelů byly o něco nižší než při vzdálenosti 25 cm. U výtěžnosti methanu to bylo zhruba o 11 %. Odrůda Sucrosorgo dosahovala výrazně nižších výnosů biomasy než na 25 cm (o $16,87\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Od toho se dále odvíjel pokles i u dalších ukazatelů, např. výtěžnost methanu klesla o 23 %. Ve srovnání odrůd Goliath a Sucrosorgo dosahuje Goliath o $1\,798\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ (o 32 %) více ve výtěžnosti CH_4 než odrůda Sucrosorgo. Odrůda Bovital pěstovaná na 50 cm měla oproti 25 cm nepatrně nižší výnos biomasy, ale vyšší produkci bioplynu o $176\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$. To však neplatilo o výtěžnosti methanu, která naopak klesla o $140\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ (tab. 20 a 21).

Při rozteči řádků 75 cm měla nejvyšší výnos biomasy odrůda Sucrosorgo ($69,68\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$), následovaly odrůdy Goliath ($56,66\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a Bovital ($38,88\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Nejvyšší produkci bioplynu ($7\,296\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) a výtěžnost methanu ($4\,073\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) měla odrůda Sucrosorgo, na druhém místě byla odrůda Goliath s produkcí bioplynu $6\,561\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ a $3\,784\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ methanu. Rozdíly mezi nimi nebyly statisticky průkazné (tab. 22). Výtěžnost methanu u odrůdy Sucrosorgo klesla oproti meziřádkové vzdálenosti 50 cm o 7 % a o 18 % oproti vzdálenosti 25 cm. U Goliath klesla výtěžnost methanu dokonce o 32,5 % oproti 50 cm a o 40 % oproti 25 cm.

Z uvedeného vyplývá, že při meziřádkové vzdálenosti 25 cm a 50 cm byla nejvýkonnější odrůda Goliath. Při meziřádkové vzdálenosti 75 cm dosáhly dobrých výsledků odrůdy Sucrosorgo i Goliath.

5.4 Porovnání čiroku a kukuřice ve výnosových a kvalitativních ukazatelích

Kukuřice byla pěstovaná pouze při běžné a praxí osvědčené meziřádkové vzdálenosti 75 cm. Na rozdíl od ní byl čirok zkoušen při třech různých meziřádkových roztečích. Z tohoto důvodu lze statisticky vyhodnotit pouze kukuřici a čirok při meziřádkové vzdálenosti 75 cm.

Z porovnání výsledků čiroku a kukuřice pěstovaných na 75 cm vyplývá, že ve výnosech biomasy byl nejlepší čirok s $69,68\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (odrůda Sucrosorgo), následovala kukuřice s $60\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ (odrůda Atletico) a dále odrůdy Goliath ($56,66\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a Bovital ($38,88\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$).

Rozdíl mezi kukuřicí a odrůdou Goliath nebyl statisticky prokázán (tab. 22). Nejvyššího výnosu sušiny dosáhla kukuřice ($18,80 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a následně odrůdy Sucrosorgo ($17,91 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a Goliath ($16,56 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Rozdíly mezi nimi však nebyly statisticky průkazné. Významně se lišila pouze odrůda Bovital s nejnižším výnosem sušiny $9,94 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. V produkci bioplynu a methanu byla nejlepší odrůda Sucrosorgo ($7\,296 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ a $4\,073 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$), potom odrůda Goliath ($6\,561 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ a $3\,784 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) a kukuřice ($6\,362 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ a $3\,713 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$). Rozdíly mezi nimi nebyly opět statisticky průkazné.

Ačkoliv nemůžeme statisticky vyhodnotit výsledky kukuřice a odrůd čiroku pěstovaných při menších meziřádkových vzdálenostech, je rozdíl ve výnosových a kvalitativních ukazatelích jasně patrný z níže uvedených grafů.

Kukuřice odrůdy Atletico běžně pěstovaná na 75 cm dosahovala vyšších výnosů biomasy i sušiny a produkce bioplynu a CH_4 než odrůda Bovital (graf 16 a 17). Odrůda Goliath pěstovaná na 25 cm a 50 cm měla ve všech ukazatelích lepší výsledky než kukuřice (graf 18 a 19). Odrůda Sucrosorgo pěstovaná na 25 cm měla vyšší výnos biomasy i sušiny a produkci bioplynu a methanu než kukuřice (odrůda Atletico). Vyšší výnos biomasy a produkce methanu byla také při rozteči řádků 50 cm i 75 cm (graf 20 a 21).

Na základě dosažených výsledků lze konstatovat, že čirok (odrůdy Goliath a Sucrosorgo) lze zdárně pěstovat i při menších meziřádkových vzdálenostech a přitom dosáhnout lepších výsledků než bioplynová kukuřice (odrůda Atletico).

Pro čirok byl jednoznačně příznivější rok 2012, kdy dosahoval vyšších výnosů biomasy i sušiny, produkce bioplynu a výtěžnosti methanu. Pro kukuřici byl také příznivější rok 2012, s výjimkou výnosu biomasy, který byl nepatrně vyšší v roce 2011.

Tab. 14: Vliv meziřádkové vzdálenosti a odrůdy čiroku a kukuřice na výnosové a kvalitativní parametry v roce 2011

Odrůda a meziřádková vzdálenost	Výnos biomasy (t.ha ⁻¹)	Obsah sušiny (%)	Výnos sušiny (t.ha ⁻¹)	Obsah CH ₄ v bioplynu (%)	Produkce CH ₄ (m ³ .t ⁻¹)	Produkce bioplynu (m ³ .ha ⁻¹)	Výtěžnost CH ₄ (m ³ .ha ⁻¹)
Bovital 25 cm	46,33	25,11	11,64	66	214	3801	2496
Bovital 50 cm	45,80	25,67	11,76	59	199	3976	2344
Bovital 75 cm	38,48	25,41	9,78	47	192	4035	1886
Průměr Bovital	43,54	25,40	11,06	57	202	3938	2242
Goliath 25 cm	77,13	30,78	23,74	67	263	9288	6250
Goliath 50 cm	75,60	30,45	23,02	62	236	8705	5425
Goliath 75 cm	59,01	29,65	17,48	58	228	6883	3992
Průměr Goliath	70,58	30,29	21,41	62	242	8292	5222
Sucrosorgo 25 cm	80,07	24,15	19,33	67	254	7366	4910
Sucrosorgo 50 cm	63,40	25,24	16,00	61	232	6053	3712
Sucrosorgo 75 cm	68,92	25,55	17,61	56	228	7221	4016
Průměr Sucrosorgo	70,80	24,98	17,65	61	238	6880	4213
Atletico 75 cm (kukuřice)	60,26	30,58	18,47	57	192	6244	3547

Tab. 15: Vliv meziřádkové vzdálenosti a odrůdy čiroku a kukuřice na výnosové a kvalitativní parametry v roce 2012

Odrůda a meziřádková vzdálenost	Výnos biomasy (t.ha ⁻¹)	Obsah sušiny (%)	Výnos sušiny (t.ha ⁻¹)	Obsah CH ₄ v bioplynu (%)	Produkce CH ₄ (m ³ .t ⁻¹)	Produkce bioplynu (m ³ .ha ⁻¹)	Výtěžnost CH ₄ (m ³ .ha ⁻¹)
Bovital 25 cm	46,47	25,41	11,81	66	218	3875	2571
Bovital 50 cm	46,00	25,98	11,95	60	204	4052	2443
Bovital 75 cm	39,28	25,71	10,10	48	193	4129	1953
Průměr Bovital	43,92	25,70	11,29	58	205	4019	2322
Goliath 25 cm	78,73	31,14	24,52	66	260	9676	6376
Goliath 50 cm	79,67	30,82	24,55	64	236	9041	5785
Goliath 75 cm	54,30	28,81	15,64	57	229	6238	3576
Průměr Goliath	70,90	30,26	21,57	62	241	8318	5246
Sucrosorgo 25 cm	81,67	23,60	19,28	65	259	7720	4988
Sucrosorgo 50 cm	64,60	25,56	16,51	61	236	6362	3902
Sucrosorgo 75 cm	70,43	25,86	18,21	56	227	7370	4130
Průměr Sucrosorgo	72,23	25,01	18,00	61	241	7151	4340
Atletico 75 cm (kukuřice)	59,73	31,94	19,12	60	202	6480	3879

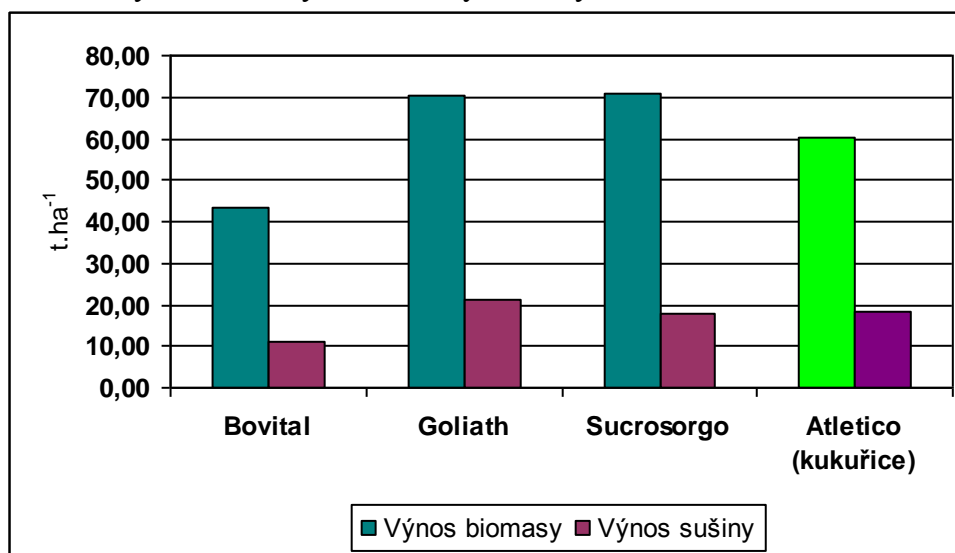
Tab. 16: Vliv meziřádkové vzdálenosti a odrůdy čiroku a kukuřice na výnosové a kvalitativní parametry (průměr let 2011 a 2012)

Odrůda a meziřádková vzdálenost	Výnos biomasy (t.ha ⁻¹)	Obsah sušiny (%)	Výnos sušiny (t.ha ⁻¹)	Obsah CH ₄ v bioplynu (%)	Produkce CH ₄ (m ³ .t ⁻¹)	Produkce bioplynu (m ³ .ha ⁻¹)	Výtěžnost CH ₄ (m ³ .ha ⁻¹)
Bovital 25 cm	46,40	25,26	11,73	66	216	3838	2534
Bovital 50 cm	45,90	25,83	11,86	60	202	4014	2394
Bovital 75 cm	38,88	25,56	9,94	48	193	4082	1920
Průměr Bovital	43,73	25,55	11,17	58	203	3979	2282
Goliath 25 cm	77,93	30,96	24,13	67	262	9482	6313
Goliath 50 cm	77,64	30,64	23,79	63	236	8873	5605
Goliath 75 cm	56,66	29,23	16,56	58	229	6561	3784
Průměr Goliath	70,74	30,28	21,49	62	242	8305	5234
Sucrosorgo 25 cm	80,87	23,88	19,31	66	257	7543	4949
Sucrosorgo 50 cm	64,00	25,40	16,26	61	234	6208	3807
Sucrosorgo 75 cm	69,68	25,71	17,91	56	228	7296	4073
Průměr Sucrosorgo	71,52	24,99	17,82	61	240	7016	4276
Atletico 75 cm (kukuřice)	60,00	31,26	18,80	59	197	6362	3713

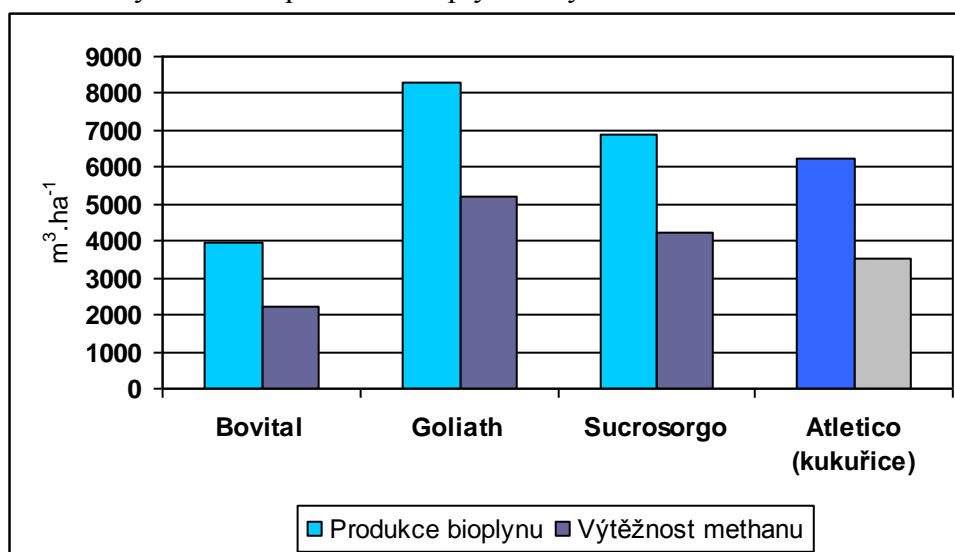
Tab. 17: Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu v roce 2011 (průměr meziřádkových vzdáleností)

Odrůda	Výnos biomasy (t.ha ⁻¹)	Výnos sušiny (t.ha ⁻¹)	Produkce bioplynu (m ³ .ha ⁻¹)	Výtěžnost CH ₄ (m ³ .ha ⁻¹)
Bovital	43,54 a	11,06 a	3938 a	2242 a
Goliath	70,58 b	21,41 c	8292 b	5222 c
Sucrosorgo	70,80 b	17,65 b	6880 c	4213 b
F-test	87,09	102,08	79,85	110,42
p (α)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
d _{amin.}	5,96923	1,84345	883,508	512,703

Graf 4: Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy a sušiny v roce 2011



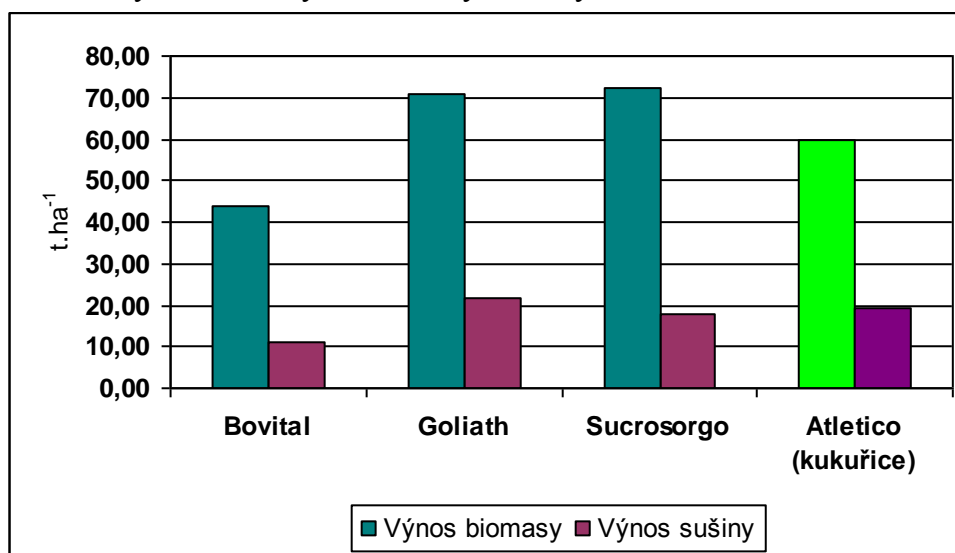
Graf 5: Vliv odrůdy čiroku na produkci bioplynu a výtěžnost methanu v roce 2011



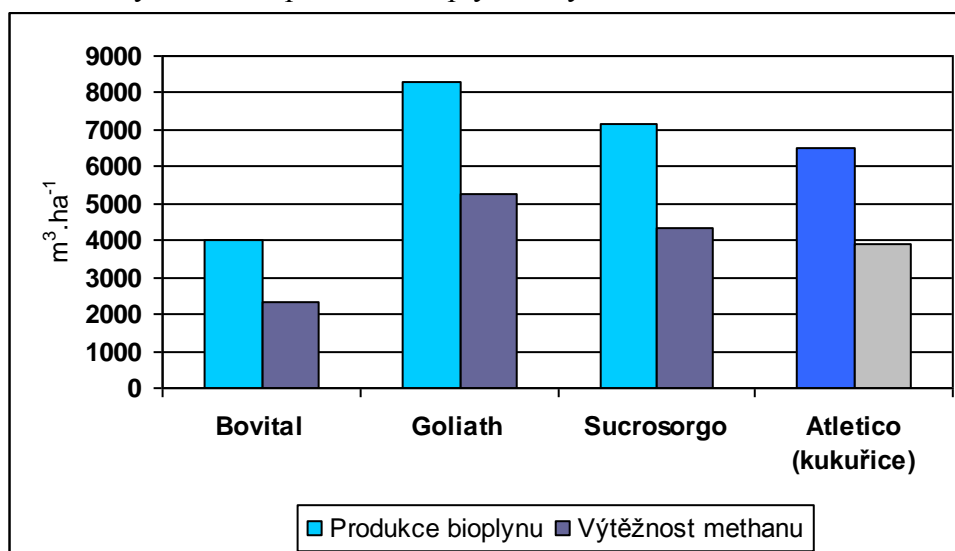
Tab. 18: Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu v roce 2012 (průměr meziřádkových vzdáleností)

Odrůda	Výnos biomasy (t.ha ⁻¹)	Výnos sušiny (t.ha ⁻¹)	Produkce bioplynu (m ³ .ha ⁻¹)	Výtěžnost CH ₄ (m ³ .ha ⁻¹)
Bovital	43,92 a	11,29 a	4019 a	2322 a
Goliath	70,90 b	21,57 c	8318 c	5246 c
Sucrosorgo	72,23 b	18,00 b	7151 b	4340 b
F-test	53,35	48,46	48,05	61,54
p (α)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
d _{amin.}	7,7744	2,66566	1139,94	677,966

Graf 6: Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy a sušiny v roce 2012



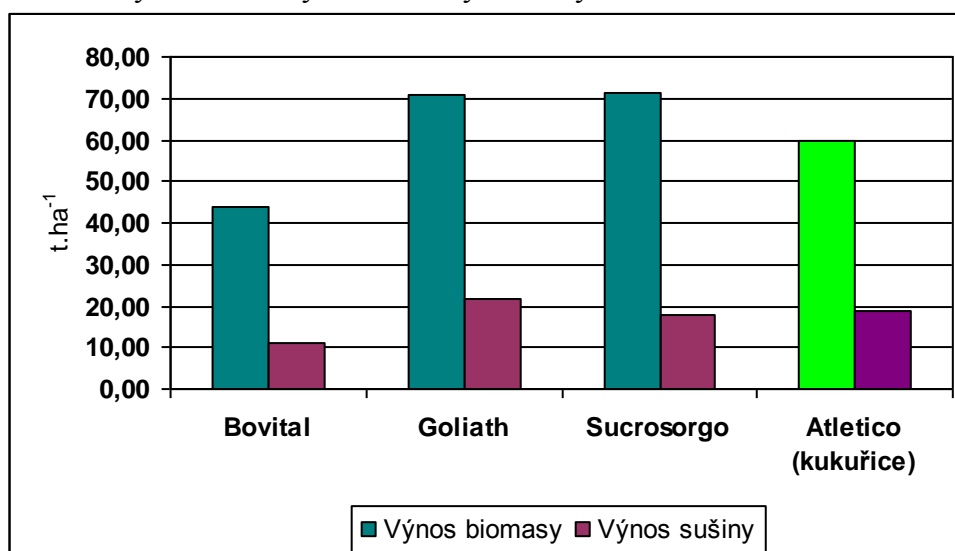
Graf 7: Vliv odrůdy čiroku na produkci bioplynu a výtěžnost methanu v roce 2012



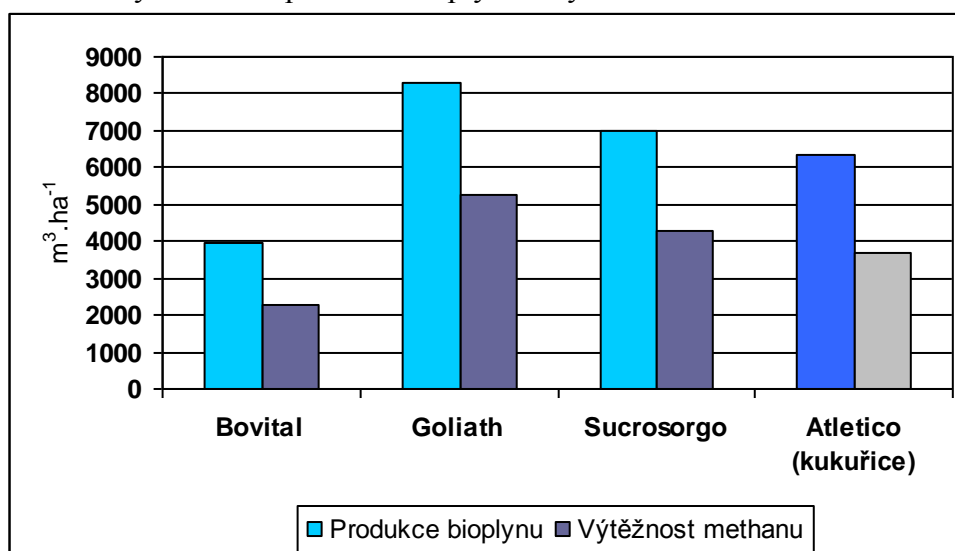
Tab. 19: Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu v letech 2011 / 2012 (průměr mezirádkových vzdáleností)

Odrůda	Výnos biomasy (t.ha ⁻¹)	Výnos sušiny (t.ha ⁻¹)	Produkce bioplynu (m ³ .ha ⁻¹)	Výtěžnost CH ₄ (m ³ .ha ⁻¹)
Bovital	43,73 a	11,17 a	3979 a	2282 a
Goliath	70,74 b	21,49 c	8305 c	5234 c
Sucrosorgo	71,52 b	17,82 b	7016 b	4276 b
F-test	141,75	141,32	128,37	169,7
p (α)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
d _{amin.}	4,54638	1,50511	670,694	395,464

Graf 8: Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy a sušiny v letech 2011 / 2012



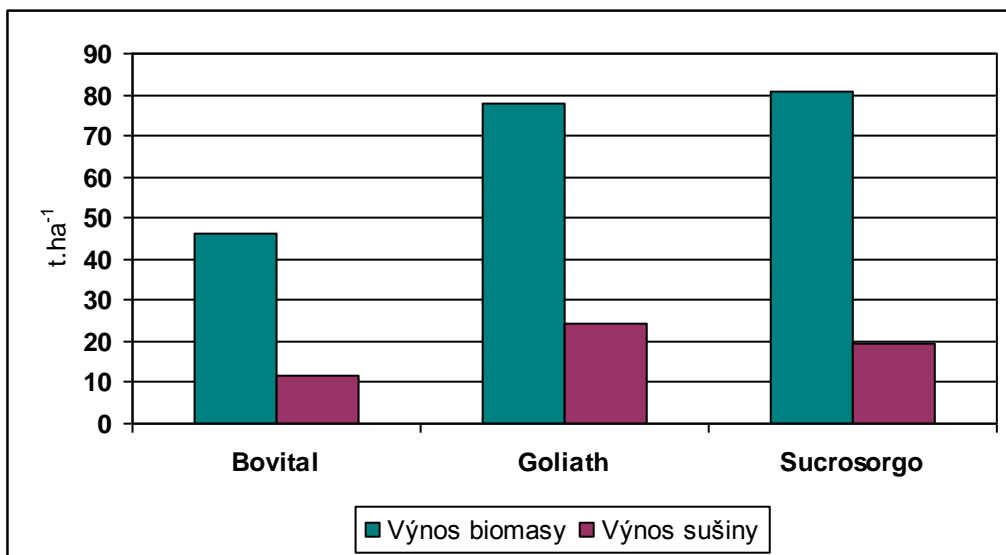
Graf 9: Vliv odrůdy čiroku na produkci bioplynu a výtěžnost methanu v letech 2011 / 2012



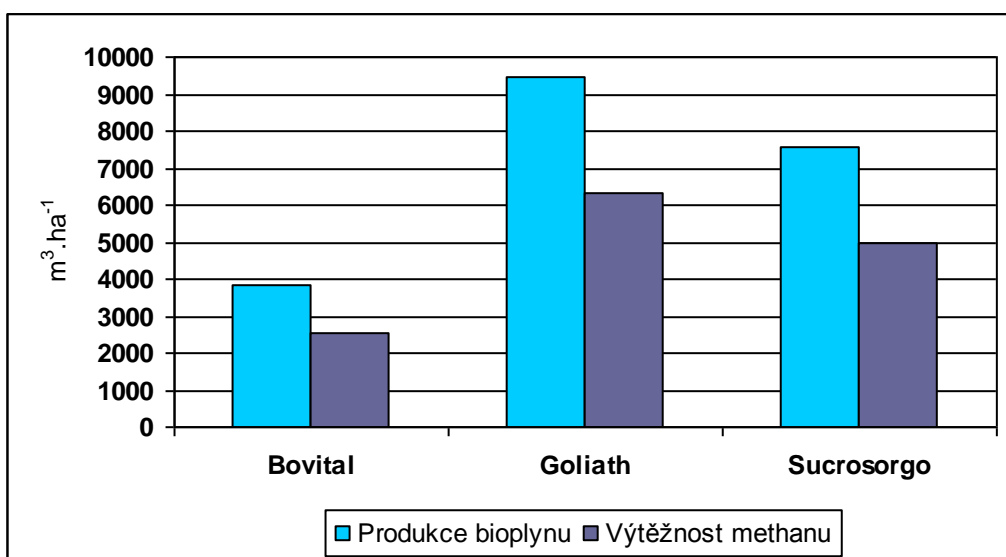
Tab. 20: Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu při meziřádkové vzdálenosti 25 cm

Odrůda	Výnos biomasy (t.ha ⁻¹)	Výnos sušiny (t.ha ⁻¹)	Produkce bioplynu (m ³ .ha ⁻¹)	Výtěžnost CH ₄ (m ³ .ha ⁻¹)
Bovital	46,40 a	11,73 a	3838 a	2534 a
Goliath	77,93 b	24,13 c	9482 c	6313 c
Sucrosorgo	80,87 c	19,31 b	7543 b	4949 b
F-test	1036,55	956,45	419,31	994,5
p (α)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
d _{amin.}	2,2053	0,751498	520,321	225,534

Graf 10: Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy a sušiny při meziřádkové vzdálenosti 25 cm



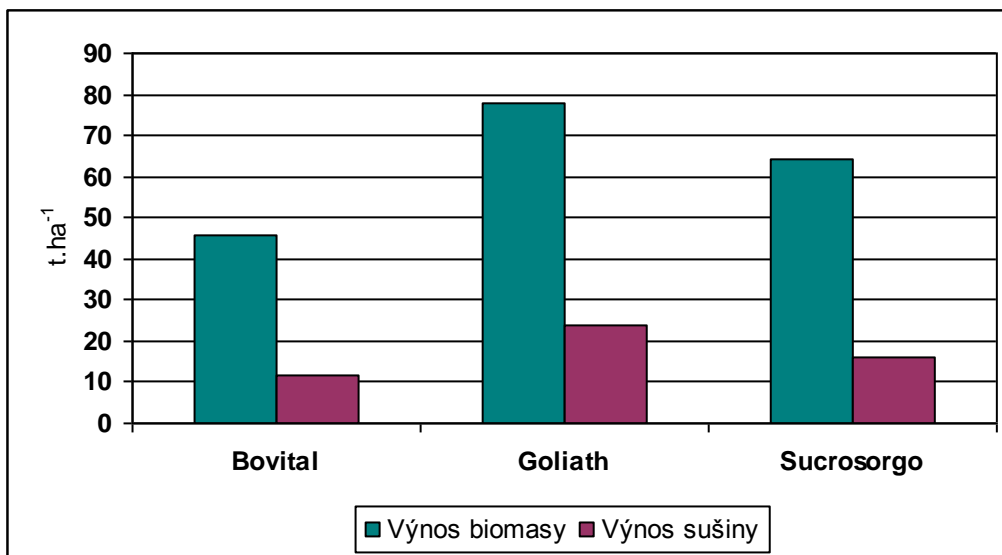
Graf 11: Vliv odrůdy čiroku na produkci bioplynu a výtěžnost methanu při meziřádkové vzdálenosti 25 cm



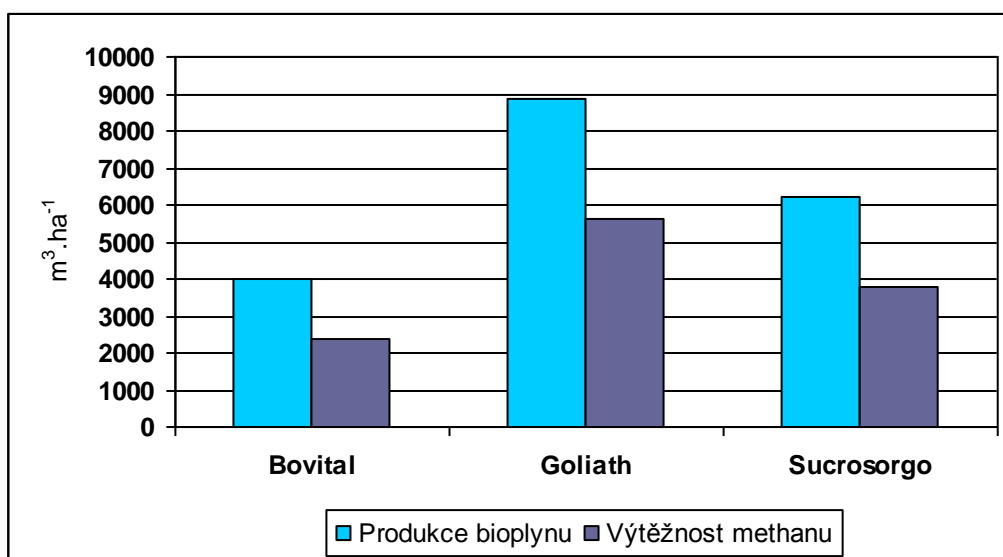
Tab. 21: Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu při meziřádkové vzdálenosti 50 cm

Odrůda	Výnos biomasy (t.ha ⁻¹)	Výnos sušiny (t.ha ⁻¹)	Produkce bioplynu (m ³ .ha ⁻¹)	Výtěžnost CH ₄ (m ³ .ha ⁻¹)
Bovital	45,90 a	11,86 a	4014 a	2394 a
Goliath	77,64 c	23,79 c	8873 c	5605 c
Sucrosorgo	64,00 b	16,26 b	6208 b	3807 b
F-test	422,1	616,73	630,9	792,07
p (α)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
d _{amin.}	2,87897	0,902557	359,935	212,516

Graf 12: Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy a sušiny při meziřádkové vzdálenosti 50 cm



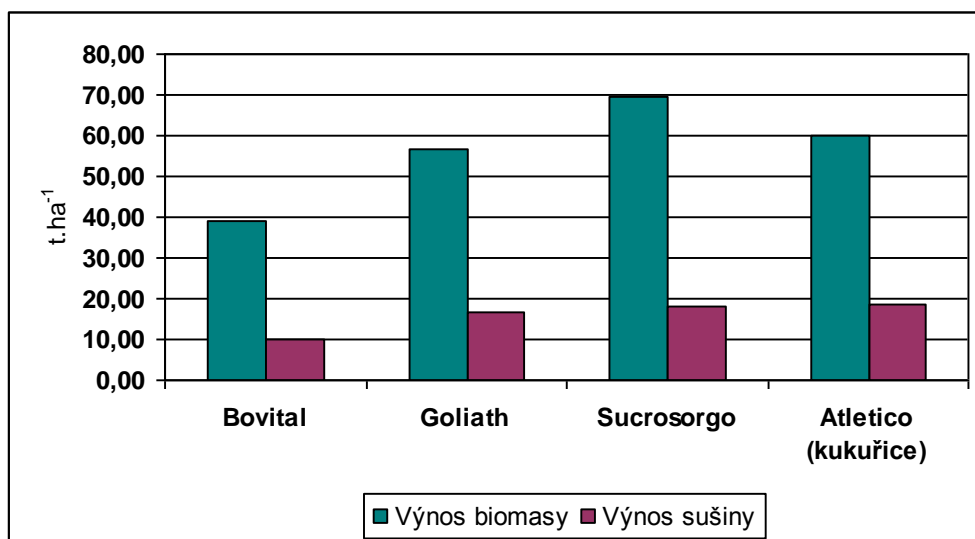
Graf 13: Vliv odrůdy čiroku na produkci bioplynu a výtěžnost methanu při meziřádkové vzdálenosti 50 cm



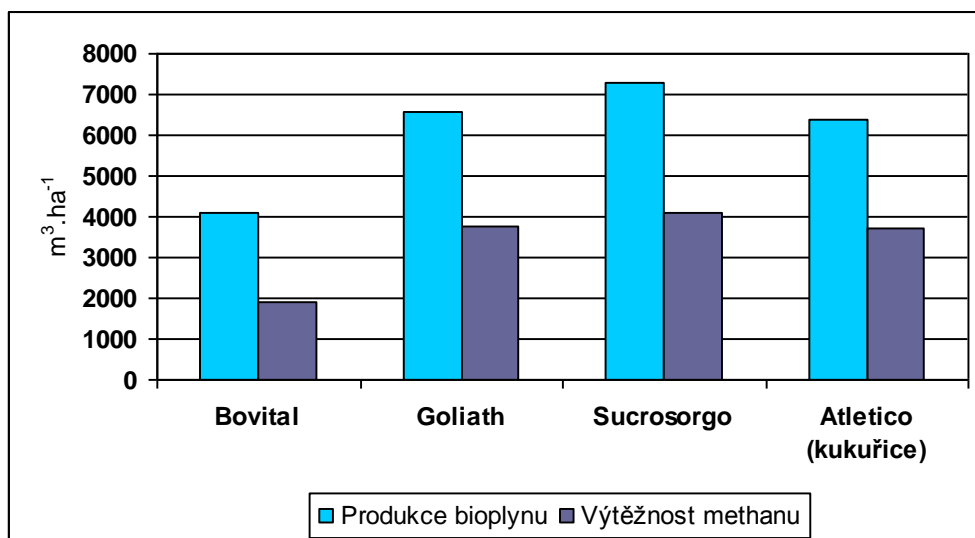
Tab. 22: Vliv odrůdy čiroku a kukuřice na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu při meziřádkové vzdálenosti 75 cm

Odrůda	Výnos biomasy (t.ha ⁻¹)	Výnos sušiny (t.ha ⁻¹)	Produkce bioplynu (m ³ .ha ⁻¹)	Výtěžnost CH ₄ (m ³ .ha ⁻¹)
Bovital	38,88 a	9,94 a	4082 a	1920 a
Goliath	56,66 b	16,56 b	6561 b	3784 b
Sucrosorgo	69,68 c	17,91 b	7296 b	4073 b
Atletico	60,00 b	18,80 b	6362 b	3713 b
F-test	422,1	616,73	630,9	792,07
p (α)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
d _{amin.}	2,87897	0,902557	359,935	212,516

Graf 14: Vliv odrůdy čiroku a kukuřice na výnos biomasy a sušiny při meziřádkové vzdálenosti 75 cm



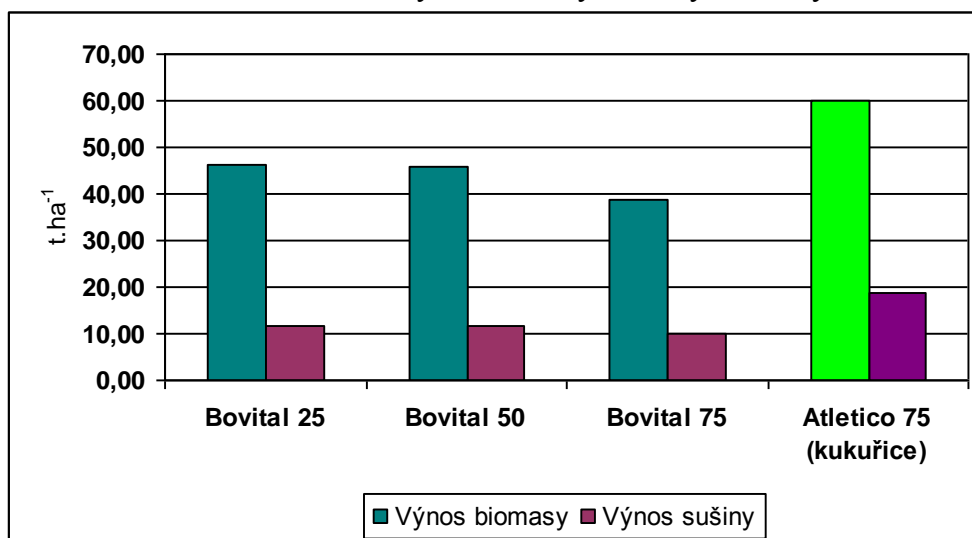
Graf 15: Vliv odrůdy čiroku a kukuřice na produkci bioplynu a výtěžnost methanu při meziřádkové vzdálenosti 75 cm



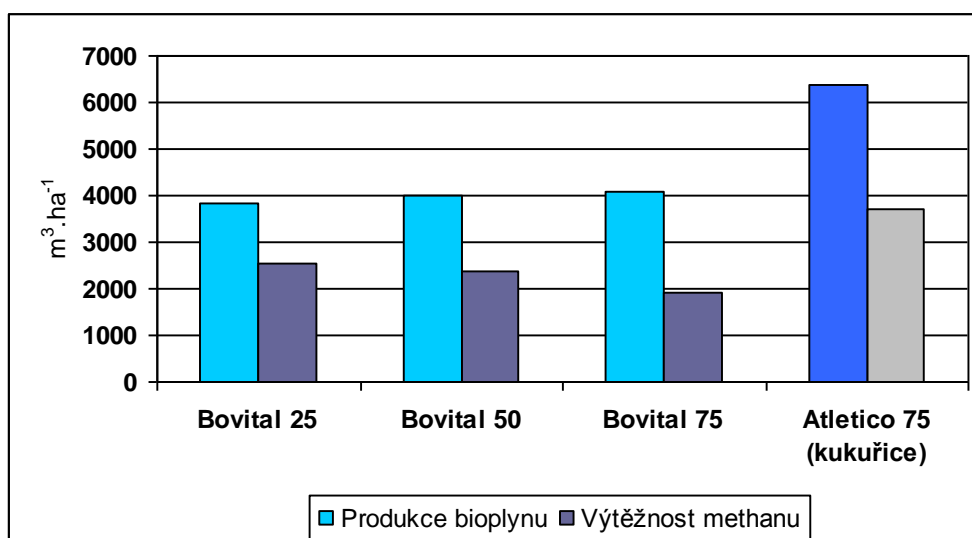
Tab. 23: Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu u odrůdy Bovital

Odrůda	Výnos biomasy (t.ha ⁻¹)	Výnos sušiny (t.ha ⁻¹)	Produkce bioplynu (m ³ .ha ⁻¹)	Výtěžnost CH ₄ (m ³ .ha ⁻¹)
Bovital 25	46,40 b	11,73 b	3838 a	2534 b
Bovital 50	45,90 b	11,86 b	4014 a	2394 b
Bovital 75	38,88 a	9,94 a	4082 a	1920 a
F-test	12,36	10,32	0,4	16,59
p (α)	0,0008	0,0018	0,6765	0,0002
d _{umin.}	4,44431	1,23608	738,133	293,534

Graf 16: Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos biomasy a sušiny u odrůdy Bovital



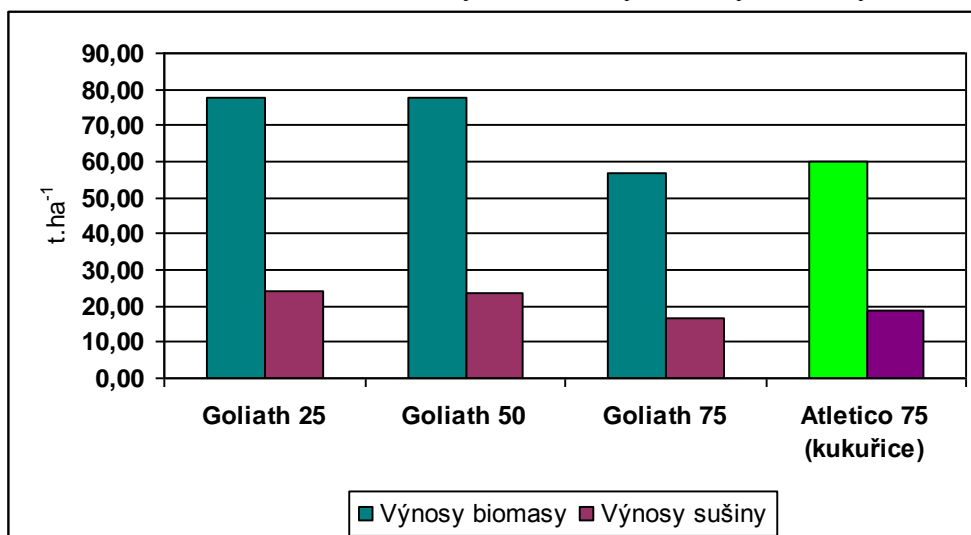
Graf 17: Vliv meziřádkové vzdálenosti na produkci bioplynu a výtěžnost methanu u odrůdy Bovital



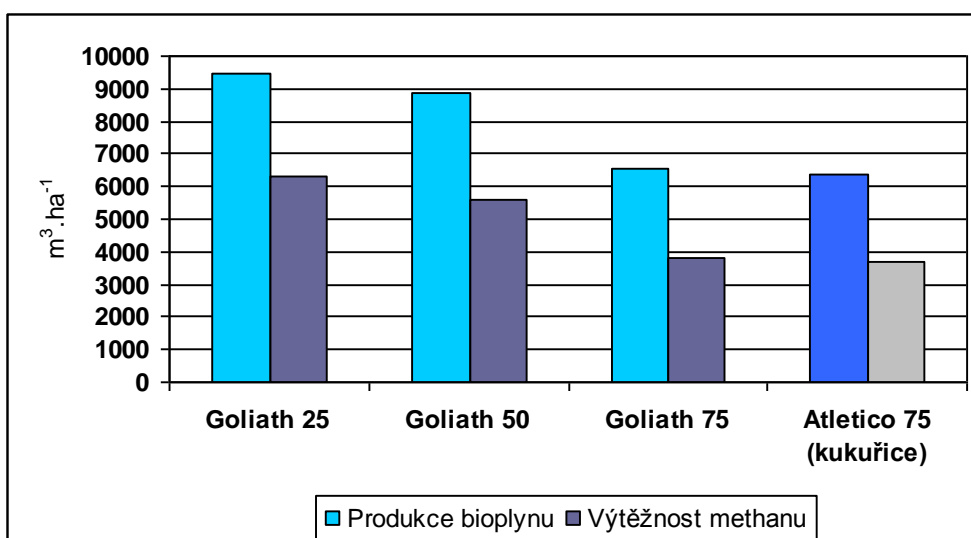
Tab. 24: Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu u odrůdy Goliath

Odrůda	Výnos biomasy (t.ha ⁻¹)	Výnos sušiny (t.ha ⁻¹)	Produkce bioplynu (m ³ .ha ⁻¹)	Výtěžnost CH ₄ (m ³ .ha ⁻¹)
Goliath 25	77,93 b	24,13 b	9482 b	6313 c
Goliath 50	77,64 b	23,79 b	8873 b	5605 b
Goliath 75	56,66 a	16,56 a	6561 a	3784 a
F-test	125,31	122,25	84,4	202,33
p (α)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
d _{amin.}	4,04959	1,43612	623,337	340,862

Graf 18: Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos biomasy a sušiny u odrůdy Goliath



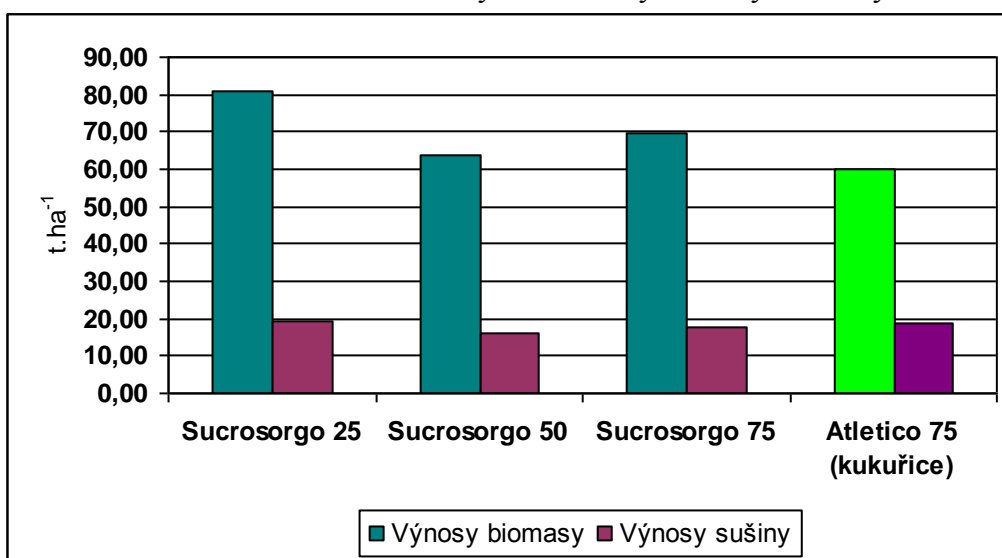
Graf 19: Vliv meziřádkové vzdálenosti na produkci bioplynu a výtěžnost methanu u odrůdy Goliath



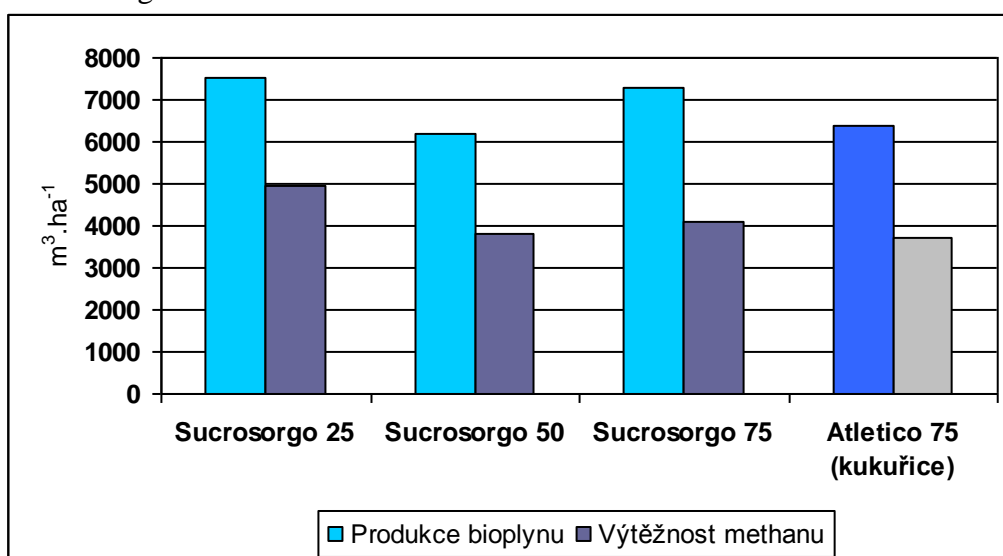
Tab. 25: Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos biomasy a sušiny a na produkci bioplynu a výtěžnost methanu u odrůdy Sucrosorgo

Odrůda	Výnos biomasy (t.ha ⁻¹)	Výnos sušiny (t.ha ⁻¹)	Produkce bioplynu (m ³ .ha ⁻¹)	Výtěžnost CH ₄ (m ³ .ha ⁻¹)
Sucrosorgo 25	80,87 c	19,31 c	7543 b	4949 b
Sucrosorgo 50	64,00 a	16,26 a	6208 a	3807 a
Sucrosorgo 75	69,68 b	17,91 b	7296 b	4073 a
F-test	226,81	34,37	32,18	61,94
p (α)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
d _{amin.}	2,11748	0,968316	4165,22	282,12

Graf 20: Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos biomasy a sušiny u odrůdy Socrosorgo



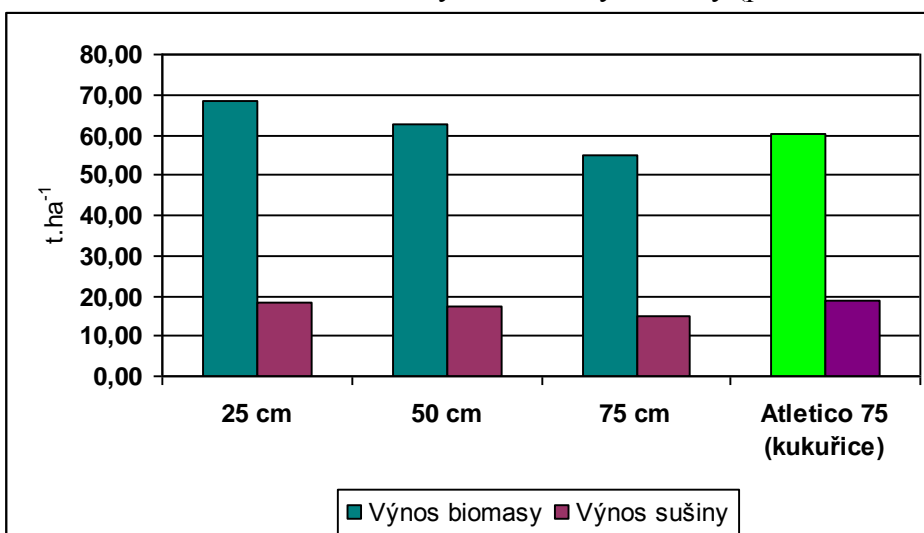
Graf 21: Vliv meziřádkové vzdálenosti na produkci bioplynu a výtěžnost methanu u odrůdy Sucrosorgo



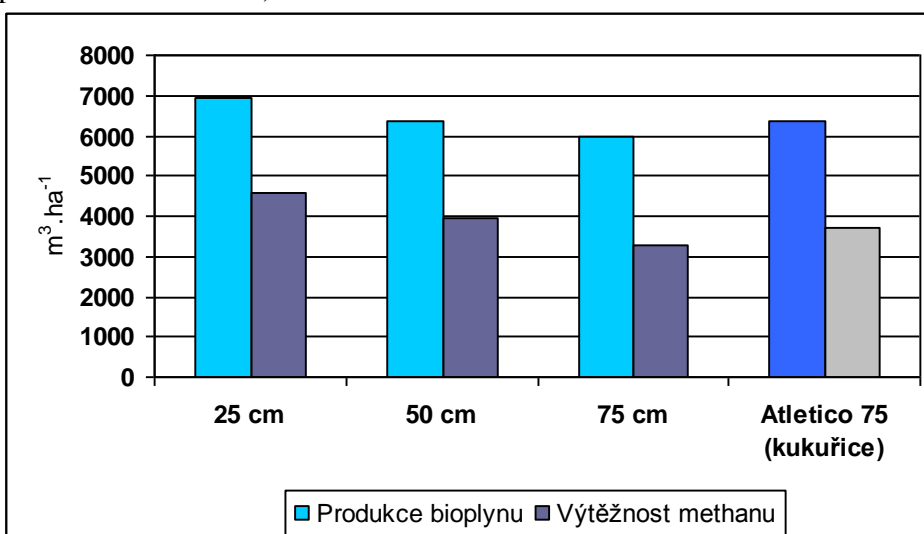
Tab. 26: Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu (průměr odrůd široku)

Meziřádková vzdálenost	Výnos biomasy (t.ha ⁻¹)	Výnos sušiny (t.ha ⁻¹)	Produkce bioplynu (m ³ .ha ⁻¹)	Výtěžnost CH ₄ (m ³ .ha ⁻¹)
25 cm	68,40 b	18,39 a	6954 a	4599 b
50 cm	62,51 ab	17,30 a	6365 a	3935 ab
75 cm	55,07 a	14,80 a	5979 a	3259 a
F-test	3,81	2,63	1,03	4,33
p (α)	0,0288	0,0820	0,3649	0,0184
d _{umin.}	11,6913	3,86557	1653,67	1099,37

Graf 22: Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos biomasy a sušiny (průměr odrůd široku)



Graf 23: Vliv meziřádkové vzdálenosti na produkci bioplynu a výtěžnost methanu (průměr odrůd široku)



6 DISKUSE

6.1 Vliv odrůdy čiroku na výnos biomasy, výnos sušiny, produkci bioplynu a výtěžnost methanu

V kapitole 2 byly stanoveny hypotézy a cíle práce. Jedna z hypotéz zní, že odrůdy čiroku cukrového se významně liší ve výnosech biomasy, výnosech sušiny, v produkci bioplynu a výtěžnosti methanu.

Výsledky dvouletých pokusů, které jsou statisticky podloženy analýzou rozptylu, jasně dokazují vliv odrůdy čiroku na výnos sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu v roce 2011 i 2012. Statisticky nebyl prokázán pouze rozdíl ve výnosu biomasy mezi odrůdami Goliath a Sucrosorgo.

Nejvyšší výnos biomasy měla v roce 2011 i 2012 odrůda Sucrosorgo v průměru 71,52 t.ha⁻¹. Odrůda Goliath dosáhla 70,74 t.ha⁻¹ biomasy. Jak již bylo řečeno, rozdíl mezi těmito odrůdami nebyl statisticky prokázán. Odrůda Bovital měla nejnižší výnos biomasy, pouze 43,73 t.ha⁻¹. Vyšší výnos biomasy u odrůd Sucrosorgo a Goliath jsou způsobeny vyšším vzrůstem. Podle Vencla a Svobodové (2009) může výška čiroku dosahovat až čtyř metrů podle podmínek stanoviště a termínu setí. Rostliny čiroku v našich pokusech dosahovaly výšky i přes čtyři metry (odrůda Goliath).

Ve výnosu sušiny (30,28 t.ha⁻¹) jednoznačně zvítězila odrůda Goliath. Mahmood a Honermeier (2012) ve svých dvouletých pokusech uvádí u odrůdy Goliath výnos sušiny 15 – 20 t.ha⁻¹, což je méně než v našich pokusech. Tato hybridní odrůda je jednou z nejranějších odrůd čiroku prodávanou v České republice, proto dosahuje vyššího obsahu sušiny než ostatní odrůdy. Ve srovnání s ní dosáhla odrůda Bovital 25,55 % sušiny a odrůda Sucrosorgo 24,99 %. V našich podmínkách může být někdy problém dosáhnout obsahu sušiny vhodného pro silážování, a proto je vhodné se před zahájením pěstování ujistit, zda není vegetační doba vybrané odrůdy příliš dlouhá.

V produkci bioplynu (8 305 m³.ha⁻¹) a výtěžnosti methanu (5 234 m³.ha⁻¹) opět prokázala nejlepší hodnoty odrůda Goliath. Výsledky produkce bioplynu se téměř shodovaly s výsledky autorů Mahmood a Honermeier (2012) - 8 260 m³.ha⁻¹, ale výtěžnost methanu byla v našich pokusech vyšší o více než 700 m³.ha⁻¹. Odrůda Sucrosorgo dosáhla 7 016 m³.ha⁻¹ bioplynu a 4 276 m³.ha⁻¹ methanu, což je o 958 m³.ha⁻¹ CH₄ méně než u odrůdy Goliath. Odrůda Bovital byla opět výrazně horší, v produkci bioplynu o 52 % (3 979 m³.ha⁻¹) a ve

výtěžnosti methanu dokonce o 56,5 % méně ($2\,282\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) než u nejproduktivnější odrůdy Goliath.

Rozdíly ve výnosech sušiny, v produkci bioplynu a výtěžnosti methanu mezi odrůdami Goliath a Bovital prokázaly naše výsledky i výsledky autorů Mahmood a Honermeier (2012). Velké rozdíly ve všech výnosových a kvalitativních ukazatelích jsou mezi odrůdami Goliath a Bovital a dále mezi odrůdami Sucrosorgo a Bovital (graf 8 a 9).

Hermuth a kol. (2011) uvádí, že z 10 t sušiny čiroku lze vyrobit $6\,000\text{ m}^3$ bioplynu s 50 % obsahem methanu. To však nepotvrdily naše výsledky ani výsledky jiných autorů např. Mahmood a Honermeier (2012) nebo Bouma (2010). Výtěžnost bioplynu z 10 t sušiny byla zhruba o $\frac{1}{3}$ nižší a obsah methanu se pohybovala kolem 60 %.

6.2 Vliv meziřádkové vzdálenosti na výnos biomasy, výnos sušiny, produkci bioplynu a výtěžnost methanu

Druhá hypotéza zněla, že čirok cukrový pěstovaný při meziřádkové vzdálenosti 25 cm a 50 cm má vyšší výnosy biomasy, výnosy sušiny, produkci bioplynu a výtěžnost methanu než čirok pěstovaný na meziřádkové vzdálenosti 75 cm.

Získané výsledky dokládají, že čirok opravdu dosahoval lepších výsledků při meziřádkové vzdálenosti 25 cm, popřípadě 50 cm.

Odrůda Bovital dosahovala nejlepších výsledků ve výnosu biomasy ($46,40\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a ve výtěžnosti CH_4 ($2\,534\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) při meziřádkové vzdálenosti 25 cm (graf 16 a 17). Nejvyšší výnos sušiny ($11,86\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) měla na 50 cm, ale rozdíl oproti 25 cm nebyl statisticky průkazný. U produkce bioplynu nebyl vliv meziřádkových vzdáleností na odrůdu statisticky prokázán (tab. 23). Na vliv meziřádkové vzdálenosti na výnosy sušiny, produkci bioplynu a methanu upozorňují také Mahmood a Honermeier (2012), kteří zakládali porosty čiroku (odrůdy Bovital a Goliath) na meziřádkové vzdálenosti 37,5 cm a 75 cm. Odrůda Bovital zasetá na 37,5 cm měla vyšší produkci bioplynu ($8\,966\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) a methanu ($4\,758\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) než na 75 cm ($6\,547\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ a $3\,586\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$). Stejná odrůda pěstovaná v našich pokusech při meziřádkové vzdálenosti 75 cm dosahovala $4\,082\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ bioplynu a $1\,920\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ methanu, což je podstatně méně.

Odrůda Goliath vykázala nejlepší výsledky na 25 cm (graf 18 a 19). Výnos biomasy byl $77,93\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, výnos sušiny $24,13\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, produkce bioplynu $9\,482\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ a výtěžnost CH_4 $6\,313\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$. Rozdíl mezi 25 cm a 50 cm meziřádkovou vzdáleností nebyl statisticky

průkazný ve výnosu biomasy a sušiny a v produkci bioplynu. Výsledky Hodovala a kol. (2012) potvrzují u odrůdy Goliath nejvyšší výnos sušiny v meziřádkové vzdálenosti 25 cm ($20,02 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a 50 cm ($20,25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Mahmood a Honermeier (2012) uvádí vyšší produkci bioplynu ($9\,634 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) a methanu ($5\,136 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) při meziřádkové vzdálenosti 75 cm, při 37,5 cm byla produkce bioplynu $8\,159 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ a methanu $4\,343 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$. V našich pokusech bylo u produkce bioplynu dosaženo téměř stejného výsledku, u výtěžnosti methanu dokonce lepšího, a to na meziřádkové vzdálenosti 25 cm.

Odrůda Sucrosorgo dosáhla nejvyšších hodnot při rozteči řádků 25 cm (graf 20 a 21). Výnos biomasy byl $80,87 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, výnos sušiny $19,31 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, produkce bioplynu $7\,543 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ a výtěžnost CH_4 $4\,949 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$. Rozdíl mezi 25 cm a 75 cm nebyl statisticky průkazný u produkce bioplynu a také rozdíl mezi 50 cm a 75 cm ve výtěžnosti methanu (tab. 25). Hodoval a kol. (2012) uvádí nejvyšší výnosy sušiny v meziřádkové vzdálenosti 25 cm ($15,36 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a následně 75 cm ($10,25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$).

6.3 Vliv odrůdy čiroku a kukuřice na výnos biomasy a sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu

V poslední hypotéze bylo řečeno, že čirok cukrový dosahuje vyššího výnosu biomasy, výnosu sušiny, produkce bioplynu a výtěžnosti methanu než běžně pěstovaná bioplynová kukuřice (odrůda Atletico).

Kukuřice byla pěstovaná pouze při běžné a praxí osvědčené meziřádkové vzdálenosti 75 cm. Na rozdíl od ní byl čirok zkoušen při třech různých meziřádkových roztečích. Z tohoto důvodu bylo možné statisticky vyhodnotit pouze kukuřici a čirok při meziřádkové vzdálenosti 75 cm. Z dosažených výsledků podložených analýzou rozptylu musíme konstatovat, že rozdíly ve výsledcích výnosu sušiny, produkce bioplynu a výtěžnosti methanu u čiroků (konkrétně odrůdy Goliath a Sucrosorgo) a kukuřice nebyly statisticky průkazné. Statisticky prokázaný rozdíl byl jen mezi odrůdou Sucrosorgo a kukuřicí ve výnosu biomasy, kdy odrůda Sucrosorgo měla vyšší výnos. Odrůda Bovital dosáhla ve všech výnosových a kvalitativních ukazatelích horších hodnot než kukuřice.

Ačkoliv nemůžeme statisticky vyhodnotit výsledky kukuřice a odrůd čiroku pěstovaných při menších meziřádkových vzdálenostech, je rozdíl ve výnosových a kvalitativních ukazatelích jasně patrný (grafy 16 – 23).

Na základě porovnávání výsledků lze konstatovat, že čirok (odrůdy Goliath a Sucrosorgo) lze zdárně pěstovat i při menších meziřádkových vzdálenostech (25 cm nebo 50 cm) a přitom dosáhnout lepších výsledků než bioplynová kukuřice (odrůda Atletico).

V produkci bioplynu a výtěžnosti methanu dosáhla odrůda Goliath při meziřádkové vzdálenosti 25 cm $9\,482\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ bioplynu a $6\,313\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ CH_4 , při meziřádkové vzdálenosti 50 cm to bylo $8\,873\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ bioplynu a $5\,605\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ CH_4 , zatímco kukuřice (odrůda Atletico) dosáhla pouze $6\,362\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ a $3\,713\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ methanu (graf 19). Odrůda Sucrosorgo pěstovaná při meziřádkové vzdálenosti 25 cm dosahovala $7\,543\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ bioplynu a $4\,949\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ methanu, při meziřádkové vzdálenosti 75 cm $7\,296\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ bioplynu a $4\,073\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ methanu. I v tomto případě měla kukuřice nižší hodnoty než odrůda Sucrosorgo (graf 21).

Z těchto výsledků je tedy patrné, že odrůdy Goliath (při 25 cm a 50 cm) a Sucrosorgo (při 25 cm a 75 cm) měly vyšší produkci bioplynu i methanu než kukuřice.

6.4 Výhody pěstování čiroku

Podle výsledků z Bavorska bylo ze směsi čiroků (odrůdy Mithril a Lussi) zaseté v červnu sklizeno 15 t sušiny z hektaru s výtěžností methanu $4\,500\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$. Oproti tomu kukuřice setá v dubnu dosáhla do 20 t sušiny a $7\,000\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ methanu. Jestliže se jednalo o pozdní červnový výsev, poskytla již jen 10 – 15 t sušiny a $4\,000 - 5\,000\text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ methanu (Bouma, 2010). Proto při pozdních výsevech může být vhodnou náhradou za kukuřici právě čirok, který se vysévá od druhé poloviny května až do konce měsíce. Čirok je teplomilná rostlina, proto při zakládání porostu je nutné vzít v úvahu jeho citlivost na teplotu půdy, která by měla dosahovat více než $12\text{ }^\circ\text{C}$. Vlivem rozdílných teplot stanovišť se výnos sušiny může podstatně lišit. Podle Strašila (1995) byl výnos sušiny v teplejších lokalitách $17 - 20\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ a v chladnějších lokalitách jen $5\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Velkou předností čiroku je, že není příliš náročný na vláhové poměry stanoviště, naopak mu vyhovují i písčité lokality a lehké půdy. Podle Boganě (2011) je jeho transpirační koeficient 200 - 300 l na kg sušiny. U kukuřice je o 100 l vyšší. Vencl (2009) uvádí, že odrůda Goliath ve srovnání s kukuřicí má zhruba poloviční nároky na vodu. Strašil (1995) podotýká, že i přes to, že dobře hospodaří s vodou, je zapotřebí k získání 20 t sušiny z hektaru zhruba 6 000 t vody, tj. 600 mm srážek. Čirok je méně nákladný na pěstování především v oblastech, kde kukuřice vyžaduje zavlažování.

Čiroky jsou také méně náročné na hnojení a pesticidy. V našich pokusech se nevyskytovali žádní škůdci ani choroby na prahu škodlivosti. To potvrzují také Hodoval a kol. (2012) a Stražil (1995). Vencel a Svobodová (2009) uvádí, že odrůda Goliath vyniká výborným zdravotním stavem a není nutná aplikace fungicidních přípravků. Bouma (2010) upozorňuje na zajímavou vlastnost, kterou je obsah alkaloidu durinu v mladých rostlinách čiroku, z něhož se strávením uvolňuje kyanovodík. To je také jeden z důvodů, proč nejsou ohrožovány škůdci. V Německu je čirok rozšířen spíše na jihu, kde mají zemědělci problémy s bázlivcem. Rostliny, které nejsou poškozovány hmyzem, také následně nejsou infikovány fuzárií. Podrábský (2013) dodává, že o čirok nejeví zájem ani divoká prasata.

Kromě výroby bioplynu je také možné čirok využít na výrobu siláže pro dojnice v suchých oblastech, kde jsou problémy s nízkým výnosem a vysokou sušinou kukuřice. Na těchto farmách je možné kombinovat čirok s kukuřicí. Jak uvádí Zimolka a Podrábský (2012) v některých oblastech se čirok cukrový používá i do pásového výsevu s kukuřicí (1:1 – 3). Díky jejich dobré fermentovatelnosti je vhodné použití vrstvy čiroku při závěru silážování kukuřice před uzavřením jam. Podrábský (2013) upozorňuje na velkou výhodou čiroku při silážování, která spočívá v tom, že za nižšího obsahu sušiny lépe drží vodu než kukuřice, a tak obvykle nedochází k odtoku silážních šťáv. Čiroková siláž má vysoký obsah cukrů a dobrou stravitelnost organické hmoty.

6.5 Pěstování čiroku a kukuřice ve vztahu k agroenvironmentálním opatřením

Provozování bioplynové stanice většinou vyžaduje nárůst zastoupení kukuřice v osevním postupu zemědělského podniku. Tento nárůst však může v následujících letech přinést negativní jevy. Význam střídání plodin pro zachování půdní úrodnosti je staletími ověřený agrotechnický postup, jehož nerespektování vede k devastaci orné půdy, rozvoji chorob a škůdců. Zařazení čiroku do osevního postupu představuje jednu z možných variant střídání plodin pro farmy s bioplynovou stanicí a vysokým zastoupením silážní kukuřice na orné půdě.

Vencel (2010) uvádí, že čirok vzchází rychle, podobně jako kukuřice do deseti dnů od výsevu. Následující vývoj nadzemní hmoty je ale pomalý, výšky kukuřice rostlina dosahuje až v srpnu. Vzhledem k pomalému vývoji není proto vhodné umísťovat čirok na svažité pozemky.

Kukuřice i čirok jsou zařazeny mezi širokořádkové plodiny, které se podle pravidel „Dobrého zemědělského a environmentálního stavu“ (dále jen GAEC) nesmí pěstovat na silně erozně ohrožených půdách. V ČR je vodní erozí půdy silně ohroženo zhruba 11 tis. ha orné půdy, mírně erozně ohrožené orné půdy je 258 tis. ha. Vzhledem k této skutečnosti se od 1. 7. 2011 pravidla GAEC zpřísnily. Standard GAEC 2 byl novelou nařízení vlády č. 479/2009 Sb. rozšířen i na tzv. mírně erozně ohrožené půdy, na nichž je možné zakládat porosty širokořádkových plodin pouze s využitím půdoochranných technologií.

V našich pokusech bylo prokázáno, že čirok určený k výrobě bioplynu a pěstovaný při menších meziřádkových vzdálenostech (25 cm a 50 cm), dosahuje vyšší produkce bioplynu a methanu než kukuřice. Bonardi et al. (2007) v jejich studii uvádí, že kříženci čiroku dosahovali vyšších výnosů ($30,43 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) než nejlepší hybridní kukuřice ($23,54 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$). Při anaerobní fermentaci se z kukuřice vyrobilo o 15 – 20 % více bioplynu než z čiroku, avšak vzhledem k vyšším výnosům čiroku, vyšly obě plodiny téměř stejně v množství vyprodukovaného bioplynu z 1 hektaru. V jejich případě ale nebyl řešen vliv různých meziřádkových vzdáleností na výnosové a kvalitativní ukazatele.

Ze získaných výsledků a poznatků o čiroku cukrovém lze tedy konstatovat, že je vhodnou alternativou k silážní kukuřici využívané pro výrobu bioplynu. Dále můžeme také předpokládat, že v budoucnu by se mohl pěstovat v menších meziřádkových vzdálenostech i na půdách mírně ohrožených vodní erozí.

6.6 Bioplyn a biomasa jako alternativa fosilních paliv

Zájem o biomasu v posledních letech velmi výrazně narůstá. Důvodem je úbytek fosilních paliv, ochrana životního prostředí a nárůst bioodpadů. V současné době prochází evropské zemědělství transformací. Dochází k využívání zemědělských produktů i pro nepotravinářské účely a klade se důraz na trvale udržitelný rozvoj zemědělství.

Využití biomasy jako obnovitelného zdroje energie má v České republice velký potenciál, neboť ČR disponuje dostatečným množstvím zemědělské půdy i při zajištění 100 % potravinové soběstačnosti (dle MZe zhruba 1 120 tis. ha). S rapidním poklesem stavů skotu a prasat v ČR vznikl problém s využitím tzv. „odpadní“ fytomasy. Tuto „odpadní“ fytomasu, ale i cíleně pěstovanou píci, lze využít jako energeticky hodnotný materiál pro teplárny spalující biomasu či bioplynové elektrárny.

Budoucí postavení venkova a zemědělství mohou posílit právě zemědělci, kteří se rozhodli podnikat ve výrobě bioplynu. Cílenou produkcí řady plodin pro nepotravinářské účely vznikají pro prvovýrobce nové trhy, které představují další zdroje příjmů (Pulkrábek a Urban, 2011). Výstavba bioplynových stanic může přinést pozitiva také obcím. Kromě zásobování elektrickou energií poskytne BPS nová pracovní místa pro tamní obyvatele. Bioplynové stanice mají pozitivní vliv pro venkov i zemědělství. To dokládají také zkušenosti okolních zemí jako je např. Rakousko a Německo (Straka a kol., 2006).

7 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo porovnat odrůdy čiroku cukrového (Bovital, Goliath, Sucrosorgo) vůči běžně pěstované a využívané bioplynové kukuřici (odrůda Atletico) ve výnosech biomasy a sušiny a dále v produkci bioplynu a výtěžnosti methanu. Dílčím cílem práce bylo stanovit optimální meziřádkovou vzdálenost ve vztahu k výnosům biomasy a k produkci a kvalitě bioplynu.

Výsledky dvouletých pokusů, které byly statisticky podloženy analýzou rozptylu, jasně dokazují vliv odrůdy čiroku na výnos sušiny, na produkci bioplynu a výtěžnost methanu v roce 2011 i 2012. Nejvyšší výnos biomasy měla v průměru let odrůda Sucrosorgo $71,52 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Odrůda Goliath dosáhla $70,74 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ biomasy. Rozdíl mezi těmito odrůdami ve výnosu biomasy nebyl statisticky průkazný. Odrůda Bovital měla nejnižší výnos biomasy a to $43,73 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Ve výnosu sušiny ($30,28 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) byla jednoznačně nejlepší odrůda Goliath. Ve srovnání s ní dosáhla odrůda Sucrosorgo $24,99 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ sušiny a odrůda Bovital pouze $11,17 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. V produkci bioplynu ($8\,305 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) a výtěžnosti methanu ($5\,234 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) opět prokázala nejlepší hodnoty odrůda Goliath. Odrůda Sucrosorgo dosáhla o $1\,289 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ méně bioplynu a o $958 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ méně CH_4 než odrůda Goliath. Odrůda Bovital dosahovala nejnižších hodnot, v produkci bioplynu měla o 52 % ($3\,979 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) a ve výtěžnosti methanu dokonce o 56,5 % méně ($2\,282 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) než nejproduktivnější odrůda. Odrůda Bovital se statisticky průkazně lišila ve všech výnosových a kvalitativních ukazatelích od odrůd Goliath a Sucrosorgo.

Dále byl statisticky prokázán vliv meziřádkové vzdálenosti při pěstování jednotlivých odrůd čiroku cukrového na výnosové a kvalitativní ukazatele. Odrůda Bovital dosahovala nejlepších výsledků ve výnosu biomasy ($46,40 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) a ve výtěžnosti CH_4 ($2\,534 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$) při meziřádkové vzdálenosti 25 cm. Nejvyšší výnos sušiny ($11,86 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$) měla na 50 cm, ale rozdíl oproti 25 cm nebyl statisticky průkazný. U produkce bioplynu nebyl vliv meziřádkových vzdáleností na odrůdu Bovital statisticky prokázán. Odrůda Goliath vykázala nejlepší výsledky na 25 cm (graf 18 a 19). Výnos biomasy byl $77,93 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, výnos sušiny $24,13 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, produkce bioplynu $9\,482 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ a výtěžnost CH_4 $6\,313 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$. Při meziřádkové vzdálenosti 25 cm a 50 cm dosahovala odrůda Goliath průkazně vyšších hodnot výnosových a kvalitativních ukazatelů než při meziřádkové vzdálenosti 75 cm. Rozdíl mezi meziřádkovou vzdáleností 25 cm a 50 cm nebyl statisticky průkazný ve výnosu biomasy a sušiny a v produkci bioplynu. Rovněž odrůda Sucrosorgo dosáhla nejvyšších hodnot při rozteči řádků 25 cm. Výnos biomasy byl $80,87 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, výnos sušiny $19,31 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, produkce bioplynu $7\,543$

$\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ a výtěžnost CH_4 $4\,949 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$. Rozdíl mezi 25 cm a 75 cm nebyl statisticky průkazný u produkce bioplynu a také rozdíl mezi 50 cm a 75 cm ve výtěžnosti methanu.

Statisticky byly podloženy výsledky jednotlivých odrůd čiroku a kukuřice (odrůda Atletico) při meziřádkové vzdálenosti 75 cm. Ve výnosu biomasy byla nejlepší odrůda Sucrosorgo. Ve výnosu sušiny, v produkci bioplynu a výtěžnosti methanu nebyl rozdíl mezi odrůdami čiroku a kukuřicí statisticky průkazný.

Odrůda Sucrosorgo měla větší výtěžnost methanu při všech meziřádkových vzdálenostech než kukuřice. Odrůda Goliath měla lepší výsledky v produkci bioplynu a methanu při všech meziřádkových vzdálenostech než kukuřice. Horší výsledky výnosových a kvalitativních ukazatelů oproti kukuřici měla pouze odrůda Bovital.

Z dosažených výsledků jednoznačně vyplývá, že nejvhodnější meziřádkovou vzdáleností pro pěstování čiroku cukrového k výrobě bioplynu je meziřádková vzdálenost 25 cm. Nejvýnosnější odrůdou čiroku byla odrůda Goliath, po které následovala odrůda Sucrosorgo. Obě odrůdy pěstované při meziřádkové vzdálenosti 25 cm dosáhly větší produkce bioplynu a methanu než běžně využívaná bioplynová kukuřice (odrůda Atletico).

Stanoviska k vědeckým hypotézám

a) Odrůdy čiroku cukrového se významně liší ve výnosech biomasy, výnosech sušiny, v produkci bioplynu a výtěžnosti methanu.

Hypotéza byla potvrzena. Výsledky pokusů podložené analýzou rozptylu potvrdily, že mezi odrůdami Bovital, Goliath a Sucrosorgo jsou rozdíly ve výnosech biomasy, výnosech sušiny, v produkci bioplynu a výtěžnosti methanu. Statisticky nebyl průkazný pouze rozdíl ve výnosu biomasy mezi odrůdami Goliath a Sucrosorgo.

b) Čírok cukrový pěstovaný při meziřádkové vzdálenosti 25 cm a 50 cm má vyšší výnosy biomasy, výnosy sušiny, produkci bioplynu a výtěžnost methanu než čírok pěstovaný na meziřádkové vzdálenosti 75 cm.

Hypotéza byla částečně potvrzena. U odrůdy Goliath můžeme jednoznačně potvrdit, že při meziřádkové vzdálenosti 25 cm a 50 cm dosahuje vyšších výnosů biomasy a sušiny, produkce bioplynu a výtěžnosti methanu než při meziřádkové vzdálenosti 75 cm. Také odrůda Bovital vykazovala lepší výsledky v meziřádkové vzdálenosti 25 cm a 50 cm, kromě produkce bioplynu, kde rozdíly nebyly statisticky průkazné. Odrůda Sucrosorgo dosahovala vyššího výnosu biomasy a sušiny a vyšší výtěžnosti methanu pouze při meziřádkové

vzdálenosti 25 cm. Rozdíl v produkci bioplynu mezi 25 cm a 75 cm nebyl statisticky průkazný.

c) Čirok cukrový dosahuje vyššího výnosu biomasy, výnosu sušiny, produkce bioplynu a výtěžnosti methanu než běžně pěstovaná bioplynová kukuřice (odrůda Atletico).

Hypotéza byla částečně potvrzena. Získané výsledky potvrzují, že odrůdy Goliath a Sucrosorgo dosáhly vyšších hodnot výnosových a kvalitativních ukazatelů než kukuřice. Pouze odrůda Bovital dosahovala v porovnání s kukuřicí nižších hodnot výnosových a kvalitativních ukazatelů.

8 SEZNAM LITERATURY

1. Adamčík, J., Pazderů, K., Pulkrábek, J. 2012. Vlastnosti semen a osiva čiroku. *Agromanuál*. 7 (1). 82 – 83.
2. Bogaň, J. 2011. Čirok – alternativa do bioplynových stanic. *Úroda*. 59 (1). 13.
3. Bonardi, P., Amaducci, S., Lorenzoni, C. 2007. Sorghum may overtake maize for biogas production. *Informatore Agrario*. 63 (13). 37 – 40.
4. Bouma, D. 2010. Čirok jako alternativa k silážní kukuřici. *Úroda*. 58 (10). 69.
5. Bufka, A., Rosecký, D. Obnovitelné zdroje energie v roce 2011. mpo.cz [online]. [cit. 2013-02-22]. Dostupné z: <<http://www.mpo.cz/dokument118407.html>>.
6. Celjak, I. Biomasa je nezbytná součást lidského života. *Biom.cz* [online]. 2008-12-22 [cit. 2012-09-05]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-je-nezbytna-soucast-lidskeho-zivota>>.
7. Česká bioplynová asociace. Energetická efektivnost bioplynových stanic [online]. [cit. 2013-03-24]. Dostupné z: <<http://www.czba.cz/files/ceska-bioplynova-asociace/uploads/files/EnEfBPS-komplet.pdf>>.
8. Deloitte Česká republika. Současné trendy ve výstavbě zdrojů elektrické energie v ČR v kontextu EU [online]. [cit. 2013-02-24]. Dostupné z: <http://www.deloitte.com/assets/DcomCzechRepublic/Local%20Assets/Documents/Soucasne_trendy_ve_vystavbe_zdroju_elektricke_energie_2011.pdf>.
9. Dendy, D. A. V. 1995. Sorghum and millets – chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul. p. 406. ISBN: 0-913250-84-8.
10. Doggett, H. 1988. Sorghum. London Scientific & Technical. Essex. p. 512. ISBN: 0-582-46345-9.

11. ERÚ. Roční zpráva o provozu ES ČR 2011 [online]. [cit. 2013-03-15]. Dostupné z: http://www.eru.cz/user_data/files/statistika_elektro/rocní_zprava/2011/Rocni_zprava_ES_CR_FINAL.pdf.
12. Fuksa, P., Hakl, J. 2012. Čirok (6) – uplatnění vícesečných pícíních čiroků. Agromanuál. 7 (5). 82 – 83.
13. Hermuth, J. 2010. Čirok znovu vzkříšená plodina v ČR. Agromanuál. 5 (2). 62 – 65.
14. Hermuth, J. 2011. Kvalita biomasy zkoušených odrůd čiroku. Úroda. 59 (12). 55 -58.
15. Hodoval, J., Pulkrábek, J., Urban, J. 2012. Čirok (5) – možnosti agrotechniky čiroku cukrového. Agromanuál. 7 (4). 88 – 89.
16. Jančovič, J., Ďukrová, E., Vozár, L'. 2005. Krmoviny I. (Pestovanie poľných krmovín). Ústav vedecko-technických informácií pre pôdohospodárstvo v Nitre. Bratislava. s. 100. ISBN: 80-89088-40-6.
17. Mahmood, A., Honermeier, B. 2012. Chemical composition and methane yield of sorghum cultivars with contrasting row spacing. Field Crops Research 128, p. 27 – 33.
18. MZe. 2012. Akční plán pro biomasu v ČR na období 2012 – 2020. MZe. Praha. s. 100. ISBN: 978-80-7434-074-1. Dostupné také z: http://eagri.cz/public/web/file/179051/APB_final_web.pdf.
19. Pastorek, Z., Andert, D., Hutla, P., Jelínek, A., Kára J., Plíva, P., Sladký, V. 1999. Využití odpadní biomasy rostlinného původu. Ústav zemědělských a potravinářských informací ÚZPI. Praha. s. 65. ISBN: 80-7271-055-9.
20. Petříková, V. 2009. Energetické plodiny v zemědělské praxi. Energie 21. 2 (1). 16 – 19.
21. Petříková, V. 2012. Plodiny proti erozi i pro výrobu bioplynu. Energie 21. 5 (2). 18 – 19.

22. Petříková, V., Sladký, V., Stražil, Z., Šafařík, M., Ust'ák, S., Váňa, J. 2006. Energetické plodiny. Profi Press, s.r.o. Praha. s. 127. ISBN: 80-86726-13-4.
23. Podrábský, M. 2013. Množství hmoty, ale hlavně energie. Zemědělský týdeník. 16 (9). 4 – 5.
24. Prugar, J. a kol. 2008. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a.s. Praha. s. 327. ISBN: 978-80-86576-28-2.
25. Pulkrábek, J., Urban, J. Energetické využití rostlinné biomasy. Biom.cz [online]. 2011-01-17 [cit. 2013-04-05]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/energeticke-vyuziti-rostlinne-biomasy>>. ISSN: 1801-2655.
26. Straka, F., Dohányos, M. 2006. Bioplyn: příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů. 2.vydání. GAS. Praha. s. 706. ISBN: 80-7328-090-6.
27. Stražil, Z., Šimon, J. 1995. Pěstování a využití energetických a průmyslových plodin v soustavě hospodaření na půdě pro energetické a průmyslové účely. Výzkumný ústav rostlinné výroby. Praha. s. 11. ISBN: neuvedeno.
28. Stuchlík, V. 1951. O číroku cukrovém a jeho použití v průmyslové výrobě. Brázda. Praha. s. 74. ISBN: neuvedeno.
29. ÚZEI. Zpráva o stavu zemědělství ČR za rok 2011 [online]. [cit. 2013-03-15]. Dostupné z: <<http://www.uzei.cz/left-menu/publikacni-cinnost/ostatni-publikace/ZZza2011.pdf>>.
30. Vencl, M. 2010. Čírok k přerušení kukuřičného sledu. Zemědělec. 18 (22). 24.
31. Vencl, M., Svobodová, L. 2009. Čírok na siláž i výrobu bioplynu. Zemědělec. 17 (10). 21.
32. Vrzal, J., Novák, D., Kohout, V., Štrafelda, J. 1995. Pěstování kukuřice a jednoletých píceňin. Institut výchovy a vzdělávání Mze ČR. Praha. s. 32. ISBN: 80-7105-097-0.

33. Wall, J. S., Ross, W. M. 1970. Sorghum production and utilization. The Avi Publishing Company, Inc. Westport Connecticut. p. 702. ISBN: 87055-069-1.
34. Zimolka, J. 2008. Kukuřice – hlavní a alternativní užitkové směry. Profi Press, s.r.o. Praha. s. 200. ISBN: 978-80-86726-31-1.
35. Zimolka, J., Podrábský, M. 2012. Čirok – plodina s velkou budoucností. Úroda. 60 (2). 68 – 70.