

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**KATEDRA ROSTLINNÉ VÝROBY**



**Využití ozimého žita (*Secale cereale* L.) pro bioplynové  
stanice**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Matěj Horák**

**Vedoucí práce: Ing. David Bečka Ph. D.**

© 2015 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci " Využití ozimého žita (*Secale cereale* L.) pro bioplynové stanice " jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce Ing. Davida Bečky Ph. D. a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 8.4.2015

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Davidu Bečkovi Ph. D. za trpělivost, množství cenných rad i praktických připomínek. Velké poděkování patří kolektivu pracovníků ve Výzkumném ústavu zemědělské techniky v Praze Ruzyni, zejména paní Ing. Ireně Hanzlíkové a dále pracovníkům z KLASTR bioplyn v Červeném Újezdu. Dále děkuji za odbornou pomoc Ing. Petru Shejbalovi a Ing. Marcele Jirglové z firmy VP AGRO.

## Souhrn

Kukuřice je v současné době nejvýznamnější plodina světa. Hlavním využitím je na výživu lidí jako zrno nebo jako siláž pro výživu skotu. Kukuřice v posledních letech zvýšila význam i v České republice a to s nárůstem počtu bioplynových stanic. Kukuřice má však mnoho omezení a tam může najít uplatnění žito. Tato plodina, která byla dřív nejpěstovanější plodinou, zaznamenala velký pokles ploch na celém světě. Hlavním důvodem byla nižší schopnost reagovat na intenzifikační prvky. Pěstováním žita lze vyřešit problém podniků, které mají svažitě pozemky kde nemohou pěstovat kukuřici, nebo si chtějí rozšířit jenom spektrum plodin v osevním postupu. Výsledným produktem z fermentace je bioplyn, který obsahuje hlavně metan a oxid uhličitý. Bioplyn se u nás nejčastěji využívá v kogenerační jednotce a výsledkem je elektrická energie a teplo.

Můj pokus se zabýval různými poměry kukuřičné (k) a žitné (ž) siláže po přidání určitého množství očkovacího materiálu. Očkovací materiál byl použit z bioplynové stanice. Pokus byl prováděn na dvou stanovištích. První bylo VÚZT v Praze Ruzyni (2 pokusy) a druhé KLASTR Bioplyn v Červeném Újezdu. U vzorků z VÚZT bylo sledováno: množství bioplynu, obsah metanu, množství odbourané organické sušiny a pH na vstupu a na výstupu. U vzorků z KLASTR bylo sledováno: množství bioplynu a množství metanu.

Pokus 1 se i přes tři opakování nezdařil. Pravděpodobným důvodem neúspěchu byla špatná kvalita očkovacího materiálu. U pokusu číslo 2 činily poměry mezi očkovacím materiálem a siláží 30:70 a u siláže byly následující poměry k:ž (100:0, 0:100, 90:10, 80:20, 70:30, 40:60) a očkovací materiál jako kontrola. Doba zdržení ve fermentoru činila 45 dnů při stálé teplotě 40 – 42°C. Sušina byla u kukuřičné siláže 29,9 %, u žitné 27,84 % a u očkovacího materiálu 4,68. Hodnota pH u siláží byla 4,03.

Nejlepšího obsahu metanu dosáhla varianta 70 % kukuřičná + 30 % žitná siláž s průměrnou hodnotou 51,3 % CH<sub>4</sub>. Produkce z 1 kg sušiny nejlépe dopadla u varianty 70 % kukuřičné + 30 % žitné siláže s hodnotou 611,6 l bioplynu, nejhůře 40 % kukuřičné + 60 % žitné siláže s hodnotou 419,7 l bioplynu. Produkce metanu z kg sušiny dopadlo nejlépe u varianty 70 % kukuřičná + 30 % žitná siláž 313,5 l, nejhůře dopadla varianta 40 % kukuřičná + 60 % žitná siláž s produkcí 210,5 l metanu. Je statisticky významný pozitivní vliv přidání žitné siláže ke kukuřičné a to až do 30 % obsahu.

Pokus 3 byl založen s poměry k:ž (0:100, 100:0, 50:50, 70:30) + kontrolní varianta – inokulant. Ve všech vzorcích byl naměřen vysoký obsah metanu, který přesahoval často hodnotu 60 %. Největší obsah metanu si po celý průběh pokusu udržovala varianta 100%

kukuřičné siláže. Překvapením byl vysoký obsah metanu u kontrolní varianty. Největší výtěžnost bioplynu byla zjištěna u varianty 100 % kukuřičné siláže s 740,4 l bioplynu a 399,8 l metanu. Nejhorší byla varianta 100 % žitná siláž s výtěžností 679,3 l bioplynu a 346,5 l metanu. Statisticky ale nebyly tyto výsledky průkazné.

Výsledkem je zjištění, že když pomíneme neúspěšný pokus, tak byl podle jedné metodiky zjištěn pozitivní vliv přidání žitné siláže, a to až do 30 % hmotnosti. Tyto výsledky byly statisticky průkazné. Podle druhé metodiky přidání žitné siláže ke kukuřičné nezvyšuje výtěžnost bioplynu a metanu, naopak ji snižuje. Tyto výsledky ale nejsou statisticky průkazné. Uplatnění žito najde na pozemcích, kde pěstitele nemohou pěstovat kukuřici, jako rozšíření osevního postupu a rozložení pracovních špiček s možností po žitu nasít velmi ranou kukuřici nebo čirok a dosáhnout dvou sklizně za rok.

Klíčová slova: kukuřice, žito, siláž, bioplyn, metan, digestát

## Summary

Maize is currently the most important crop in the world. It is used mainly as food (its grain) or as silage for feeding cattle. In recent years maize has become more important also in the Czech Republic, following the increase of the number of biogas plants. However, in many respects maize is limited and that is where rye comes to play. Rye used to be the most widespread crop but it saw huge decrease throughout the world. The main reason for that was lower ability to respond to intensifying elements. Growing rye is a solution for the companies with sloping land on which maize cannot be grown or generally for the companies which want to widen spectre of their production. Final product of fermentation is biogas which contains mainly methane and carbon dioxide. In our country biogas is used mainly in cogenerative units where it produces electric energy and heat.

The trial was carried out with different ratios of maize (*m*) and rye (*r*) silage after adding certain amount of inoculum material. The inoculum material was from biogas plant. The experiment was conducted at two different institutions: VÚZT Prague Ruzyně (2 trials) and KLASTR Bioplyn, Červený Újezd. The following traits were monitored at VÚZT samples: quantity of biogas, methane content, the amount of degradation of organic solids and pH of the input and output. As for the KLASTR samples, quantity of biogas and methane content were monitored.

The trial 1 failed although repeated three times, probably due to the poor quality of inoculum material. At the trial 2 the used ratio of inoculum material and silage was 30:70 and

the silage was mixed in following ratios:  $m$  to  $r$  – 100:0, 0:100, 90:10, 80:20, 70:30, 40:60, and also the 100% inoculum material as a testing sample. The keeping time of the material in the fermentor was 45 days at 40–42 °C. Dry matter input reached 29.9 % in maize silage, 27.84 % in rye silage and 4.68 % in inoculum material. The pH value was 4.03.

The best methane content was achieved with 70 % maize and 30 % rye silage with average value 51.3 % CH<sub>4</sub>. The highest production of biogas from 1 kg of dry matter (611.6 litres of biogas) was observed with 70 % maize and 30 % rye silage, the lowest (419.7 litres of biogas) with 40 % maize and 60 % rye silage. The highest methane production of 1 kg of dry matter (313.5 litres of methane) was observed with 70 % maize and 30 % rye silage, the lowest (210.5 litres of methane) 40 % maize and 60 % rye silage. The positive influence of adding rye silage to the maize silage is statistically relevant up to the 30 % of the content.

The trial 3 was started with ratios  $m:r$  (0:100, 100:0, 50:50, 70:30) + test sample (inoculant). In all the samples the high content of methane was observed, often over 60 %. The highest content of methane was steadily observed throughout the whole project with 100% maize silage. Surprisingly high was methane content with the testing sample. The biggest utilization rate of biogas was observed with 100 % maize silage (740,4 l biogas and 399,8 l methane). The worst was the sample with 100 % rye silage (679,3 l biogas and 346,5 l methane). However, these results were not statistically relevant.

We can conclude that (with the exception of the unsuccessful trial 1) according to the first methodology the positive influence of adding rye silage up to 30 % of the weight was proved. Those results were statistically relevant. According to the second methodology, adding rye silage to maize silage does not increase utilization rate, on the contrary. However, these results are not statistically relevant. Rye can be used on the land where maize cannot be grown, widening the production and distributing working peak seasons, with the possibility to sow very early ripening maize or sorghum after rye and thus achieve two harvests within one year.

Keywords: maize, rye, silage, biogas, methane, digestate

## Obsah

1. Úvod.....	9
2. Cíl práce a hypotézy.....	10
3. Literární rešerše.....	11
3.1. Kukuřice setá ( <i>Zea mays L.</i> ).....	11
3.1.1. Biologie.....	11
3.1.2. Pěstování kukuřice v ČR a světě.....	12
3.1.3. Agrotechnika.....	13
3.1.3.1. Zařazení v osevním postupu.....	13
3.1.3.2. Založení porostu, výživa.....	14
3.1.3.3. Ochrana.....	16
3.1.4. Využití.....	19
3.1.5. Odrůdy.....	21
3.1.6. Kukuřice a bioplyn.....	23
3.2. Žito seté ( <i>Secale cereale L.</i> ).....	26
3.2.1. Biologie.....	26
3.2.2. Pěstování žita v ČR a světě.....	27
3.2.3. Agrotechnika.....	29
3.2.3.1. Založení porostu, výživa.....	29
3.2.3.2. Ochrana.....	31
3.2.4. Využití.....	31
3.2.5. Odrůdy.....	31
3.2.6. Žito a bioplyn.....	32
3.3. Siláž.....	33
3.4. Bioplyn.....	35
3.4.1. Bioplyn obecně.....	35
3.4.2. Historie výroby bioplynu.....	37
3.4.3. Vznik bioplynu.....	37
3.4.4. Technologie výroby.....	40
3.4.5. Úprava bioplynu.....	42

3.4.6.	ČR a svět.....	42
3.4.7.	Výhody bioplynu.....	43
3.4.8.	Využití bioplynu.....	43
3.4.9.	Digestát.....	44
4.	Metodika.....	46
4.1.	Pokus 1.....	46
4.2.	Pokus 2.....	49
4.3.	Pokus 3.....	51
4.4.	Statistické metody.....	57
5.	Výsledky.....	58
5.1.	Pokus 1.....	58
5.2.	Pokus 2.....	59
5.3.	Pokus 3.....	66
6.	Diskuse.....	69
6.2.	Stanovisko k hypotézám.....	73
7.	Závěr.....	74
8.	Použitá literatura.....	76
9.	Přílohy.....	82
10.	Seznam (grafy, tabulky, obrázky).....	87



# 1. Úvod

Energie je v současné době věc, bez které si život neumíme představit. Už od počátku své existence člověk byl na energiích životně závislý. Po tisíciletí to byla biomasa hlavně ze dřeva. Hlavní část dnešní energie nepochází z biomasy, ale z uhlí, ropy, zemního plynu a jádra. Tyto neobnovitelné zdroje ovšem vznikaly po miliony let a jejich množství se stále snižuje. Hlavní naleziště těchto nerostných surovin se nachází v politicky nestabilních zemích jako je Rusko a země Arabského poloostrova. Potřeba energie je o to důležitější, že velké nárůsty spotřeby energie můžeme pozorovat v zemích jako je Čína a Indie. Evropa se zaměřuje spíše na úsporu energií a na obnovitelné zdroje energie. Největší význam obnovitelných zdrojů můžeme vidět v zemích jako je Německo a Norsko.

Mezi nejvýznamnější obnovitelné zdroje můžeme zařadit větrnou, vodní, sluneční a v Evropě v posledních letech hodně využívanou z biomasy. Tu můžeme rozdělit na energii, kterou získáme přímým spalováním biomasy, na alternativní paliva nebo na anaerobní fermentaci organických materiálů.

Anaerobní fermentace je proces, který probíhá u nás nejčastěji při vlhkosti substrátu 8 %. Produktem tohoto procesu je bioplyn, který obsahuje nejčastěji 2/3 metanu a 1/3 oxidu uhličitého. Dále obsahuje sulfan, kyslík a další stopové množství prvků. V České republice nastal rozvoj bioplynových stanic po roce 2006. K datu 1.1.2014 je na území České republiky 500 bioplynových stanic s výkonem 392,35 MW a podíl na obnovitelných zdrojích energie činí 22,1 %. Výhodou tohoto obnovitelného zdroje je, že poskytuje kontinuální dodávky elektřiny do sítě a nezatěžuje přenosovou soustavu jako větrné a sluneční elektrárny. Nejvíce bioplynových stanic je v současnosti zemědělských a hlavní složkou pro výrobu bioplynu je kukuřičná siláž a kejda.

Kukuřice je dnes dominantním substrátem v bioplynových stanicích. Poskytuje velký výnos na jednotku plochy za poměrně nízké náklady a její pěstitelská technologie je dobře propracovaná. Velkou nevýhodou kukuřice je ale velké nebezpečí eroze, kterou se i přes stále propracovanější půdoochranné opatření nedaří eliminovat. Navíc v současné době můžeme u mnoha zemědělských podniků vidět problémy s prasaty, která dokážou porost kukuřice úplně zdecimovat. Navíc monokultura kukuřice devastuje půdu ať už z důvodu eroze, utužení půdy a snižování organických látek v půdě. Řešením pro podniky na erozně ohrožených polích je

žito. Žito bylo dříve nejrozšířenější plodina, ale i z důvodu nižší schopnosti reagovat na intenzifikační prvky její význam klesal. Žito má však velké množství výhod a mezi hlavní můžeme zmínit mrazuvzdornost, nenáročnost na pěstování a nízké náklady na pěstování.

Nejčastěji se u nás využívá bioplyn přes kogenerační jednotku. Výsledným produktem z kogenerační jednotky je elektrická energie, teplo a digestát. Část tepla slouží k vyhřívání fermentoru. Dá se využít ale třeba i na posklizňových linkách nebo k vyhřívání administrativních budov v areálech zemědělských podniků. Digestát lze používat například k regeneračnímu přihnojování obilnin a řepky, hnojení kukuřice nebo k rozkladu slámy na vyrovnání C:N. Součástí hnojení by ale mělo být dodávání primárních organických látek, abychom nesnižovaly půdní úrodnost.

## 2. Cíl práce a hypotézy

Cílem práce bylo na základě přesných laboratorních pokusů ověřit vliv poměrů kukuřičné a žitné siláže na výtěžnost bioplynu

V rámci hlavního cíle byly stanoveny tyto dílčí cíle:

- stanovení výtěžnosti bioplynu
- stanovení výtěžnosti metanu
- stanovení obsahu bioplynu

Hypotézy:

- přidání žitné siláže ke kukuřičné zvyšuje výtěžnost bioplynu
- obsah metanu u kukuřičné siláže je vyšší než u žitné siláže
- přidáním žitné siláže ke kukuřičné se stabilizuje průběh produkce bioplynu v čase
- optimální poměr kukuřičné a žitné siláže je 1:1

## 3. Literární řešerše

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

#### 3.1.1. Biologie

Kukuřice (*Zea mays L.*) je rostlina jednoletá, jednodomá, různopohlavní, cizosprašná. Patří do třídy jednoděložných *Monocotyledonae*, řádu lipnicotvaré *Poales*, čeledi lipnicovitých *Poaceae* a podčeledi kukuřicovitých *Zeeoideae* (Novák a Skalický, 2008).

Kukuřice ve volné přírodě neexistovala, protože pro pevné uložení zrna v palici a jejich krytí obalovými listeny se nemůže sama volně rozmnožovat (Špaldon a kol., 1982). Původ tohoto kulturního druhu není doložen, usuzuje se na území dnešního Mexika, snad se na jeho vzniku podílel nejbližší příbuzný druh *Zea mexicana* (Novák a Skalický, 2008). Její schopnost rozšířit se za pomoci člověka až daleko na sever svědčí o její adaptabilitě (Vidovič, 1980).

Kukuřice má svazčitý kořenový systém (Valíček a kol., 2002). Podle původu se kořeny kukuřice řadí k primární nebo sekundární kořenové soustavě (Šuk a kol., 1998). Primární soustavu tvoří kořeny, které se zakládají již v zárodku (zárodečné, embryonální), sekundární soustavu představují kořeny vznikající během růstu v přeslenech okolo bazálních uzlů (přídavné, adventivní). Vyzrálé zrno má téměř vždy jeden zárodečný kořínek (*radicula*) a různý počet prvotních kořenů postranních (7-13). Radikula, na rozdíl od jiných obilnin, nezůstává u kukuřice zakrnělá, nýbrž dosahuje značné délky a může větvit na četné boční kořeny (Zimolka a kol., 2008). Kořeny se rozrůstají nejdříve do plochy, později do hloubky. Hloubka kořenů je 50 - 100 cm, často 350 - 450 cm, proto kukuřice vzdoruje poměrně dobře suchu. Rychlost tvorby kořenů je v počátečním růstovém období velká. Rostliny vysoké okolo 10-20 mm mohou mít kořeny až 300 mm dlouhé (Kalus a kol., 1953). Převážná část je však rozložena mělce v orniční vrstvě do 20 cm, kolem stébla v okruhu okolo 100 cm i více (Zimolka a kol., 2008). Stéblo v našich podmínkách dosahuje obvyklé výšky 1,10 - 2,50 m a silné je 20 - 70 mm (Špaldon a kol., 1982). Zužuje 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 (raností hybridu) a stanovištními podmínkami. U současných hybridů jich

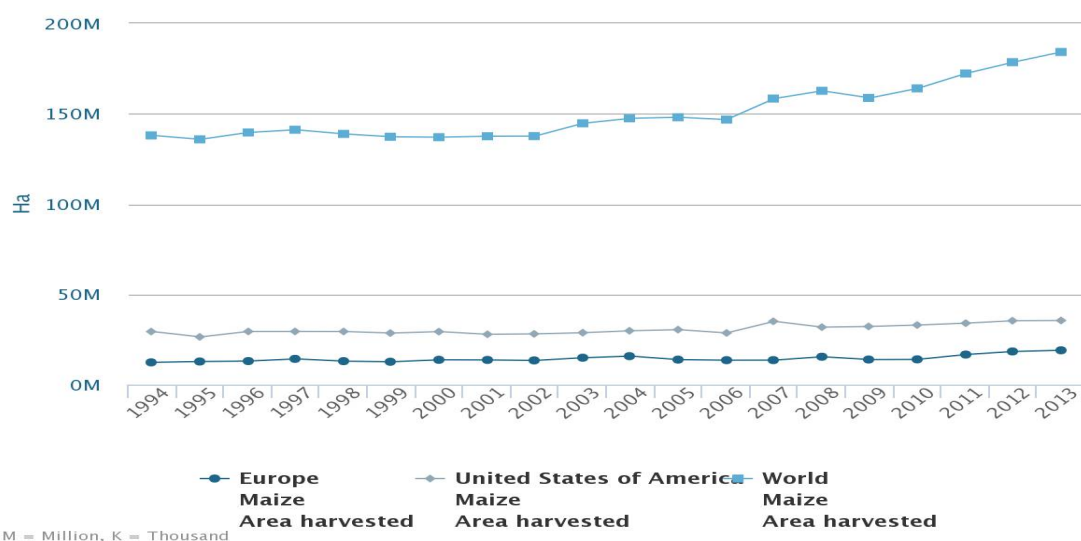
bývá okolo 11 až 15. Hodnota transpiračního koeficientu je oproti C3 rostlinám (450 - 900 g vody na 1 g sušiny) snížena na 250 – 350 g vody na gram sušiny. Mladé porosty kukuřice jsou velmi odolné vůči suchu. (Zimolka a kol., 2008).

Květy jsou různopohlavní, jednodomé. Samčí květy jsou uspořádány v terminální volnou latu složenou z hustých lichoklasů. Samičí květenství zvané palice vyrůstá z úžlabí listu a je těsně obaleno mnoha listeny (Valíček a kol., 2002). Lata začíná kvést od středu a uvolňování pylu trvá 4 - 5 dní (Šuk a kol., 1998). Opylení se děje výhradně cizím pylem (Kalus a kol., 1953). Podle fotosyntetického cyklu patří kukuřice mezi C4 druhy, tj. mezi tzv. tropické trávy (Vidovič, 1980).

### ***3.1.2. Pěstování kukuřice v ČR a světě***

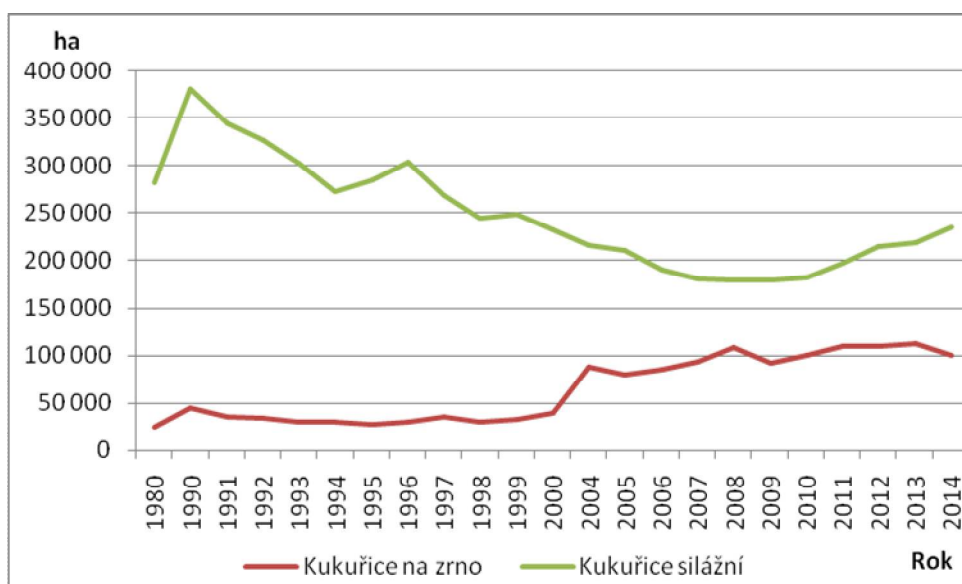
Kukuřice je spolu s pšenicí a rýží nejdůležitější obilninou ve výživě lidí, dnes i významnou krmnou, průmyslovou a energetickou plodinou, výměra je znázorněna na grafu 1. Kukuřice je nejen nejproduktivnější, ale poskytuje zároveň největší předpoklady pro růst dalších výnosů (Zimolka a kol., 2008). Graf 1 znázorňuje vývoj ploch v letech 1994 - 2013 ve světě a graf 2 v letech 1980 - 2014 v ČR. Ve světě můžeme vidět velký nárůst plochy což je zapříčiněno velkým produkčním potenciálem kukuřice a rozvojem GMO. U nás po roce 1990 je zřejmý velký úbytek plochy silážní kukuřice z důvodu poklesu stavu skotu, po roce 2010 můžeme vidět opětovný nárůst ploch silážní kukuřice. To je zapříčiněno zastavením poklesu stavu skotu a výstavbou bioplynových stanic. U kukuřice na zrno je patrný velký nárůst po roce 2000.

**Graf 1. Výměra kukuřice ve světě (tis. ha)**



Zdroj: FAOSTAT, 2014

**Graf 2. Výměra kukuřice v ČR 1980 - 2014 (ha)**



Zdroj: ČSÚ, 2015

### 3.1.3. Agrotechnika

#### 3.1.3.1. Zařazení v osevním postupu

Kukuřice je obilnina, která má svými požadavky na agrotechniku a hnojení charakter okopaniny. Dobře snáší především hnojení organickými hnojivy. V období metání lat až do mléčné zralosti má vysoké nároky na vláhu (Šuk a kol, 1998). Nejvhodnějšími předplodinami pro kukuřici jsou plodiny, které zanechávají větší množství posklizňových zbytků. Luxusními

předplodinami jsou jeteloviny a luskoviny, které obohacují půdu o dusík a zanechávají v ní velmi kvalitní posklizňové zbytky. Při současné struktuře plodin však přichází v úvahu zařazování kukuřice po jetelovinách spíše ve výjimečných případech. Proto je kukuřice nejčastěji zařazována mezi dvě obilniny, jako zlepšující plodina. V tomto případě je lepší pšenice ozimá než ječmen jarní (Zimolka a kol., 2008). Kukuřice na siláž i na zrno bývá často předplodinou pro ječmen jarní, který tak vhodně využívá starou půdní sílu. Posklizňové zbytky kukuřice na zrno však mohou být nežádoucím zdrojem infekce houbami rodu *Fusarium*, tím i zvýšeného obsahu mykotoxinů (DON) v zrnu. Velké množství posklizňových zbytků po kukuřici bývá také příčinou problémů při zakládání porostů ječmene jarního, zvláště nedodržení rovnoměrnosti plošného i vertikálního rozmístění osiva při výsevu (Zimolka a kol., 2006).

### **3.1.3.2. Založení porostu, výživa**

U kukuřice je možné využít jak tradiční technologie zpracování půdy orbou, tak minimalizační technologie bez použití orby (Zimolka a kol., 2008). V poslední době se stále více prosazuje kypření do větších hloubek, které má rozrušit někdy se vyskytující utužené vrstvy půdy a zajistit správnou objemovou hmotnost půdy. Chybou je, že většina podniků provádí tyto zásahy paušálně, bez jakéhokoliv zjištění fyzikálních vlastností nebo penetrometrického odporu půdy (Houšť a kol., 2014). V sušších a teplejších podmínkách je dosahováno stejných nebo i vyšších výnosů po minimalizačních technologiích. Problémem při využívání minimalizačních technologií u kukuřice může být nedostatečné prohřívání půdy v chladnějším jarním období (v době setí a počátečních fázích růstu a vývoje). To může oddálit termín výsevu, zpomalit vzcházení a počáteční růst (Zimolka a kol., 2008). Základem pro vývoj minimalizačních systémů zpracování půdy bylo zjištění nevýrazné reakce většiny plodin na hloubku a intenzitu zpracování půdy a pozitivní reakce obilnin na půdu spíše utuženou (Houšť a kol., 2014). Kukuřice je velmi náročná na přípravu půdy. Vyžaduje půdy hluboko zpracované, kypré a prohřáté (Šuk a kol., 1998).

Hustota porostu závisí na užitkovém směru a vlastnostech použitého hybridu. Doporučená meziřádková vzdálenost je 70 - 75 cm. Vzdálenost rostlin v řádku je 12 - 30 cm. Hloubka setí 6 - 8 cm (Zimolka a kol., 2008). Optimálním počtem jedinců na 1 ha je třeba zajistit optimální listovou (asimilační) plochu na 1 ha (Vidovič, 1980). Při volbě termínu výsevu je třeba vzít v potaz mnoho okolností - výrobní oblast, charakteristiku stanoviště (příchod mrazíků, expozice stanoviště), půdní vyzrállost stanoviště (zrnitostní složení,

vlhkost), výkon secího stroje k plánované ploše kukuřice, ranost hybridu (odolnost vůči chladu, rychlost počátečního růstu, výsledky chladového testu) (Kačicová, 2005).

Kukuřice je plodina, která má malou protierozní funkci. Významnou kapitolou využívání půdoochranných technologií je systém protierozních opatření, kterými se zabráňuje splavení půdy na svažitých pozemcích. Půdu chrání především posklizňové zbytky ponechané na povrchu půdy a cíleně vyseté protierozní meziplodiny. Jsou to například svazenka a hořčice, které vymrzají, nebo ozimé žito, které pozemek pokryje rovnoměrně až do doby, než jej chemicky likvidujeme na jaře před setím kukuřice. Žito zabrání výskytu plevelů na jaře lépe než vymrzající meziplodina, dobře prokoření horní vrstvu půdy a ta zůstane soudržná v průběhu celé vegetace kukuřice. Nejvhodnější doba pro ukončení vegetace žita je asi dva až tři týdny před setím kukuřice nízkou dávkou přípravku Roundup Klasik (1 – 1,7 l/ha) nebo Roundup Forte (0,5 – 0,7 l/ha). Při setí do takto ošetřeného žita je nutné použít bezorebné secí stroje (Kinze, JD MaxEmergencePlus), které odstraní rostlinné zbytky v řádku, kvalitně uloží semena kukuřice do půdy a zároveň aplikují startovací dávku hnojiva. (Černý, 2005).

Kukuřice patří mezi plodiny, které velmi dobře reagují na organické hnojení (Šuk a kol., 1998). Kukuřice je jednou z nejvhodnějších plodin pro využití kejdy, kterou můžeme aplikovat v podzimním i jarním období, případně využít i k přihnojování během vegetace. Rozhodující část dusíku se většinou aplikuje před setím, ale vysoký příjem rostlinami je až v období intenzivního růstu, tedy asi za 8 - 10 týdnů (Vaněk a kol., 2007). Počátek vegetace je u kukuřice charakterizován velmi malým růstem a také nízkým odběrem živin. První měsíc svého růstu kukuřice odčerpá z hektaru 3,3 – 5,6 kg N, kdežto před mléčnou zralostí toto množství přijme za jeden den (Zimolka a kol., 2008). Základní hnojení před setím až do dávky 120 kg/ha N a používají se hnojiva síran amonný, močovina, DAM. Přihnojení během vegetace se má uskutečnit v období, kdy porosty dosáhly výšky 20 - 40 cm a hnojivo LAV (Vaněk a kol., 2007). Odběr fosforu představuje u kukuřice téměř přímku s mírným nárůstem až do sklizně. (Zimolka a kol., 2008). Kritické období pro jeho příjem je v počátečních fázích růstu kukuřice (než se vytvoří dostatek kořenů). Proto je důležitý dostatečný obsah přijatelného fosforu v okolí osiva již počátkem vegetace. Je žádoucí především na půdách s nižším obsahem přijatelného fosforu aspoň část potřebné dávky P realizovat před setím nebo aplikovat aplikaci tzv. pod patu. Jedná se o zapravení fosforečného hnojiva současně se setím, kdy je hnojivo aplikováno asi 4 – 5 cm pod úroveň osiva a asi 4 – 5 cm do strany (Vaněk a kol., 2007). Nedostatek fosforu se projevuje zpočátku nenápadně. U rostlin je omezen rozvoj kořenů a dochází k méně intenzivnímu růstu nadzemní fytomasy.

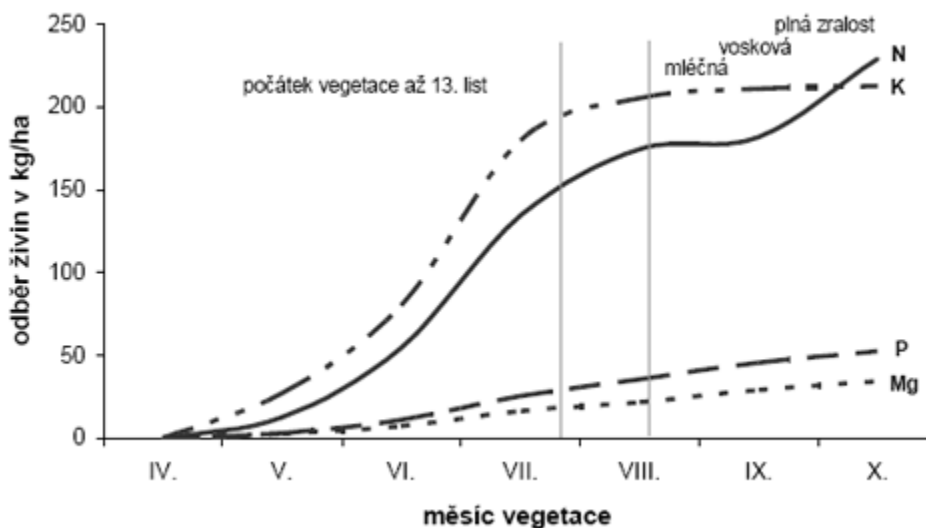
Zpočátku se antokyanové zbarvení objevuje na špičkách a okrajích listů a při silnějším nedostatku se červenofialové zbarvení projevuje na stéblech a celých listech (Zimolka a kol., 2008). Při určování dávek fosforu, draslíku a hořčíku vycházíme z rozboru půd (Vaněk a kol., 2007). Odběr jednotlivých živin je znázorněn v tabulce 1 a dynamika odběru na obrázku 1.

Tabulka 1. Střední odběr živin v kg na tunu produktu

Produkt	N	P	K	Ca	Mg
Zrno	22-26	4,4-6,6	21-33	4,3-7,1	4-6
Siláž	3,5-4	0,7-0,9	2,9-3,7	0,9-1,3	0,3-0,6

Zdroj: Vaněk a kol., 2007

Obrázek 1. Dynamika odběru živin kukuřicí při výnosu 7 tun zrna



Zdroj: Zimolka a kol., 2008

### 3.1.3.3. Ochrana

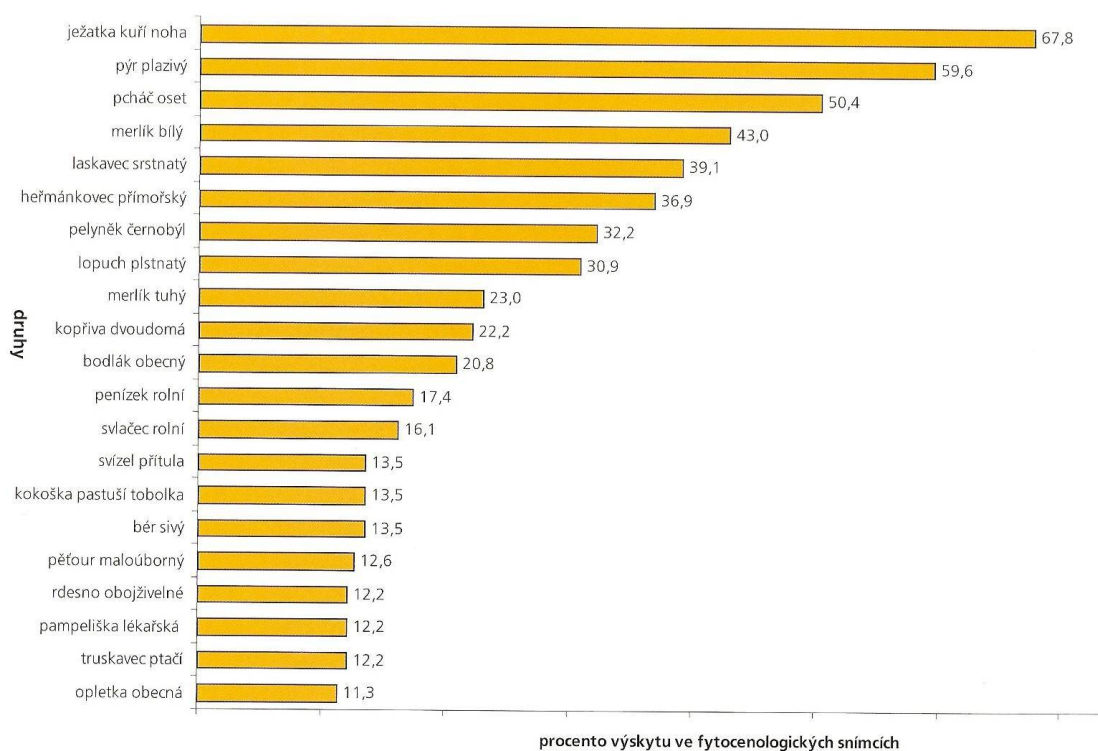
Nejvíce škody na vzcházející kukuřici působí houbové choroby přenášené na osivu nebo uvnitř něj. Nejčastějšími zástupci jsou kořenomorka, černě a spála listů. Ochrana je založena na likvidaci posklizňových zbytků a moření osiva (Zimolka a kol., 2008). Přibližně od fáze BBCH 30 se objevují příznaky napadení obecnou snětivostí kukuřice. Hálky jsou často napadeny houbami rodu *Fusarium*, které jsou producenty mykotoxinů (Kazda a kol., 2010). Napadená pletiva parenchymatických buněk jsou měkká, cévní svazky však zůstávají nepoškozené. Je snížena pevnost stébla a dochází k jeho lámaní, což způsobuje vysoké ztráty



ve výnosu zrna i silážní hmoty. K rozšiřování významně napomáhá napadení kukuřice zavíječem, mšicemi, třásněnkami a klopuškami (Zimolka a kol., 2008).

Plevelé, jak uvádí Mikulka a kol. (1996), patří mezi limitující škodlivé činitele. Z dlouhodobého pohledu je vhodné řadu plevelů (pýr plazivý, pcháč oset, svízel přítulu, heřmánkovec přímořský, oves hluchý) hubit v předplodinách. Dle názoru autorů se vlivem dlouhodobých změn v plevelných společenstvech výrazně změnilo druhové spektrum plevelů ve prospěch plevelných druhů, kterým vyhovuje intenzivní obhospodařování půdy. 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 (Zimolka a kol., 2008). Při preemergentní aplikaci herbicidů se používají herbicidy s delšími reziduálními účinky v půdě na klíčící semena jednoletých plevelných druhů. Při postemergentní aplikaci herbicidů je nutné respektovat růstovou fázi nejen kukuřice, ale zejména plevelů, protože většina vzcházejících jednoletých i vytrvalých plevelů je na herbicidy citlivá při vzcházení do fáze 2 až 4 pravých listů (Šuk a kol., 1998). Zimolka a kol. (2008) uvádí, že na základě provozních pozorování lze konstatovat, že porosty kukuřice jsou zaplevelovány především pozdně jarními a vytrvalými druhy plevelů. Procházková a kol. (2010) uvádí, že v posledních letech působí v teplejších oblastech našeho státu velké problémy durman obecný. Vzhledem k tomu, že je schopen klíčit při vyšších teplotách, se posouvá termín jeho klíčení až do léta, je také velmi obtížná jeho mechanická, ale i chemická regulace). Frekvence výskytu jednotlivých plevelů je možno vidět na obrázku 2.

**Obrázek 2. Frekvence výskytu jednotlivých plevelů v kukuřici**



Zdroj: Zimolka a kol., 2008

Od roku 2002 se šíří v ČR z jižních oblastí Evropy nebezpečný bázlivec kukuřičný. Brouci poškozují žírem celou nadzemní rostlinu, ale velké škody způsobují žírem na palici, kde poškozují jednotlivá vyvíjející se zrna (Kazda a kol., 2010). Kolem roku 1990 se objevil v Srbsku. Mladé larvy ožirají jemné kořinky, starší vyžirají dutiny v centrálním válci kořenů. Rostliny poškozené žírem larev jsou náchylné k poléhání nebo vyvracení. Rostliny se snaží opět vztyčit vegetační vrchol, a proto často dochází k jejich deformacím ve tvaru „husího krku“ (Zimolka a kol., 2008). Podle Kazda a kol. (2010) je nejvážnějším škůdcem kukuřice motýl zavíječ kukuřičný. Samičky kladou vajíčka od června na spodní stranu listů kukuřice. Housenky vyžirají stéblo, prožirají se do palic. Mechanicky poškozené rostliny se lámou. Výrazně se zvyšuje výskyt houbových chorob zejména fuzarióz. Toto napadení způsobuje oslabení rostlin, zhoršení kvality a problematictější skladování zrna. Napadená kukuřice se stává nevhodnou předplodinou pro následné obilniny (Bagar a kol., 2014). Zimolka a kol. (2008) uvádějí, že se zavíječ kukuřičný rozšířil do všech oblastí pěstování kukuřice v ČR. Na produkčních plochách se v České republice již od roku 2005 pěstuje geneticky modifikovaná kukuřice odolná vůči zavíječi kukuřičnému, tzv. Bt-kukuřice typu MON810 (Křístková, 2009). Doposud největší výměra GM kukuřice je zaznamenána v roce 2008, kdy bylo oseto 8 380 ha (cca 3 % celkové plochy kukuřice v ČR) (Stratilová, 2012). Jednou z hlavních výhod

při pěstování Bt kukuřice je, dle pěstitelů, výrazně zlepšený zdravotní stav porostu Bt kukuřice, která díky toxickému proteinu není poškozována zavíječem a sekundárně jsou tím eliminována vstupní místa pro napadení plísněmi (Křístková, 2009). Jako důležité opatření Zimolka a kol. (2008) zmiňují v rozbití posklizňových zbytků na částice menší než 5 cm, postřiku dusíkatým hnojivem (vyrovnání poměru C:N) a v dokonalém zapravení hluboko do půdy. Úspěšná ochrana je závislá především na přesném termínu aplikace biologických nebo chemických prostředků. Optimální termín chemického ošetření nastává v době, kdy se z prvních nakladených snůšek začínají líhnout housenky (Kazda a kol., 2010). Nejvýznamnějším obdobím z hlediska vzniku škod zvěří je období od fáze mléčné zralosti v podstatě až do sklizně porostu. Palice kukuřice jsou pro vysokou výživnou hodnotu zrna vyhledávaným a atraktivním zdrojem potravy prakticky pro všechny druhy naší spárkaté zvěře, zejména divoké prase, jelena lesního a muflona. Dalším faktorem, ovlivňujícím výši škod na porostech kukuřice, je skutečnost, že rozsáhlé plochy vzrostlé kukuřice poskytují zvěři kromě kvalitní potravy i potřebný kryt (kombinace výšky porostu a LAI) a ve srovnání s lesními komplexy mnohdy u větší klid, čímž umožňují dlouhodobé poškozování porostů (Zimolka a kol., 2008).

### **3.1.4. Využití**

Využití kukuřice:

- zrno
- siláž – skot, bioplynové stanice
- LKS – dělená sklizeň, směs palice s vřeteny s listeny
- CCM – dělená sklizeň, směs palice s vřeteny bez listenů

Termín sklizně kukuřice na zrno nastává až po dosažení fyziologické zralosti. To je když obsah sušiny dosáhne 65 – 68 %, zrno je tvrdé a lesklé a na bázi má načernalou vrstvu, která signalizuje konec ukládání živin. Relativně vysoký obsah vody (často až 35 – 40 % ve fyziologické zralosti) a cukrů ve sklizeném zrně vytváří příznivé podmínky pro mikrobiální procesy, které jsou doprovázeny ztrátou živin a zároveň zahříváním (Zimolka a kol., 2008). Výtěžnost zrna v závislosti na vlhkosti ukazuje tabulka 2.

**Tabulka 2. Výtěžnost zrna v závislosti na vlhkosti**

<b>Sklizňová vlhkost (%)</b>	<b>Výtěžnost suchého zrna (%)</b>
25	87,2
30	81,4
35	75,6
40	69,8
45	64
50	58,1
55	52

Zdroj: Zimolka a kol., 2008

Silážní kukuřice se v porovnání s jinými krmnými plodinami vyznačuje až o 50 % nižšími náklady na produkci energie z 1 ha plochy, vysokou potenciální produkcí a plně mechanizovanou sklizní (Přikryl a kol., 2014). Kukuřičná siláž je nejvýznamnější energetické objemné krmivo, které sehrává důležitou stabilizační úlohu v krmné dávce skotu, neboť se zkrmuje celoročně a často tvoří až 50 % podíl sušiny krmné dávky. je hlavním zdrojem škrobu, který se oproti jiným obilovinám vyznačuje nižší úrovní bacherové degradovatelnosti, a tím i jeho větší podíl přechází do střevního trávicího traktu (Zimolka a kol., 2008). Díky příznivému obsahu rozpustných sacharidů (NFC) patří silážní kukuřice k nejsnadněji silážovaným plodinám (Přikryl a kol., 2014). Na rozdíl od ostatních jednoletých píceň dochází u silážní kukuřice během vegetace ke snižování obsahu vlákniny a zvyšování obsahu energie (Zimolka a kol., 2008). Kukuřice přirůstá nepravidelně. V prvních vývojových fázích (přibližně do počátku až poloviny června) rostlina přibývá na svém objemu velmi pomalu, toto období prodlužují nízké teploty a sucho (bez patrných nepříznivých účinků na rostlinu). Od poloviny června až do začátku srpna dochází k intenzivnímu růstu. Zvyšuje se přitom sušina rostlin kukuřice a celkový výnos sušiny, a současně se snižuje podíl vlákniny vlivem nárůstu hmotnosti zrna a zvýšením podílu zrna na hmotnosti celé rostliny (Šuk, 1998).

Kromě těchto hlavních užitkových směrů se u nás rozvíjí další alternativní formy využití produkce kukuřice. Jedná se o použití v potravinářském průmyslu (na výrobu škrobu, tuku a olejů, nových mlýnských a pekárenských produktů), pro průmyslové zpracování (jako

surovina pro výrobu stavebních hmot, papíru lepidel, bioplastů) a nejnověji jako obnovitelný zdroj energie (bioetanol, bioplyn, biomasa) (Hůla a Procházková, 2008).

### 3.1.5. Odrůdy

Podle stupně ranosti jsou hybridy označeny číslem FAO (Vrzal a kol., 1995). FAO je orientační ukazatel, který charakterizuje hybrid a délku jeho vegetace s tím, že deset čísel FAO činí rozdíl v délce vegetační doby 1 - 2 dny nebo 1 - 1,5 % obsahu sušiny zrna. Podle ranosti jsou obvykle pro bramborářskou výrobní oblast doporučovány nejranější hybridy FAO 160 - 250, pro řepářskou hybridy skupiny FAO 250 - 300 a pro teplejší řepářskou oblast i hybridy pozdnější. V kukuřičné oblasti lze pěstovat hybridy skupiny FAO 300-400 (Fuksa a kol., 2006). V tabulce 3 je možné vidět rozdělení kukuřice dle FAO včetně nároků při pěstování na zrno a siláž.

**Tabulka 3. Rozdělení kukuřice dle FAO**

Skupina ranosti	Číslo FAO	Průměrná denní t °C	Suma t °C při pěstování na	
			zrno	siláž
			1.5. - 30.9.	
Velmi raná	150 - 199	13,5 - 14,4	2070 - 2210	1700 - 1950
Raná	200 - 249	14,5 - 15,5	2210 - 2370	1950 - 2200
Poloraná	250 - 299	15,5 - 16,4	2370 - 2520	2200 - 2500
Polopozdní	300 - 340	16,5 - 17,4	2520 - 2670	2500 - 2800
Pozdní	Nad 350	Nad 17,5	Nad 2670	2800 - 3200

Zdroj:Vrzal a kol., 1998

U evropských šlechtitelů se osvědčuje koncept sumy efektivních teplot. Průměr denních teplot se počítá jako střed minima a maxima denní teploty. Je odlišný od poledních teplot, které obvykle uvádí německé meteorologické služby. Dny, jejich polední teplota leží pod hranicí 6°C, budou brány jako 0, a dny, jejichž denní teplota je přes 30°C, budou brány ve výpočtu sumy denních teplot jako 30. Hraniční hodnota je základem myšlenky, že s teplotou pod 6°C není růst kukuřice možný a že teploty přesahující 30°C již také nejsou efektivně využívány k asimilaci (Zimolka a kol., 2008).

Chceme-li tak zachovat významné výhody, které nabízí výnos hybridů kukuřice, potřebují zemědělci koupit toto osivo každý rok, neboť tím zamezí nežádoucí změně genu použitého hybridu kukuřice, ke které by mohlo dojít při stále opakovaném hybridu kukuřice v jedné oblasti (Smale, Edmeans, Groot; 2006). Románková a Prokeš (2010) zmiňují, že z rozsáhlého zjišťování nákladů na hektar kukuřice na siláž, dosažených výnosů a výsledné ceny vyplynuly následující závěry znázorněné pak v tabulce 4:

- intenzivní agrotechnika zpravidla zaručuje nejnižší náklad na jednotku produkce, ačkoliv náklad na jednotku plochy je vysoký
- při extenzivním pěstování silážní kukuřice (jednostranné zaměření na co nejnižší náklady na jednotku plochy) potřebujeme pro zabezpečení plánované produkce větší výměru orné půdy a celkové náklady vynaložené na silážní kukuřici jsou tak podstatně vyšší, než při intenzivním přístupu k pěstování kukuřice
- při hledání úspor na výrobu kukuřičné siláže jsou paradoxně nejdříve omezovány faktory intenzifikační (osiva, hnojiva, pesticidy), přestože 50 až 60 % vstupů do výroby tvoří náklady vnitropodnikové

**Tabulka 4. Vliv výnosu kukuřice na potřebu plochy a celkové náklady na výrobu 1 000 tun siláže**

Výnos hmoty t/ha	Náklad Kč na 1 ha	Potřeba plochy ha	Náklady Kč celkem	z toho zvýšený náklad na osivo + 1800 Kč/ha	úspora plochy (ha)	úspora nákladů (Kč/ha) celkem
25	17 000	40	680 000	0	0	0
30	17 000	33,3	566 100	0	6,7	113 900
35	19 000	28,6	543 400	51 480	11	136 600
40	21 000	25	525 000	45 000	15	155 000
45	22 000	22,2	488 400	39 960	17,8	191 600
50	23 000	20	460 000	36 000	20	220 000

Románková a Prokeš, 2010

### **3.1.6. Kukuřice a bioplyn**

Z energetických plodin má kukuřice při výrobě bioplynu největší význam. Jako C4 rostlina má kukuřice proti ostatním u nás původním rostlinným druhů nejvyšší výnosový potenciál (Amon a kol., 2006). Energetická kukuřice z 1 ha vyprodukuje 6x více energie ve formě metanu, než se v podobě vstupů investuje (Prokeš, 2012).

V intenzivním růstu kukuřice potřebuje hodně vody, aby svůj genetický potenciál mohla promítnout do výnosu. Nutný obsah sušiny u sklizně je alespoň 28 %. Existují ale i odrůdy, které mohou dosáhnout až 35 % sušiny (Amon a kol., 2006). Kolísavý obsah vody v půdě a její nedostatek je hlavním mezním činitelem určujícím výši rostlinné produkce (Baier, 1980).

Románková a Stropnický (2006) uvádějí, že hlavním kritériem při výrobě bioplynu je obsah energie v použitém substrátu. Nejvíce užívaným substrátem pro výrobu bioplynu je kukuřičná siláž a transportním médiem a očkovacím substrátem je kejda. V Německu mezi lety 2002 - 2009 stoupla výměra silážní kukuřice i vzhledem k výrobě bioplynu z 1 119 000 ha na 1 643 000 ha (nárůst 47 %). Podíl kukuřice v bioplynové stanici byl v roce 2009 78 % (Roux a kol., 2010).

Cílem pěstování silážní kukuřice je jak vysoký výnos sušiny na 1 ha, tak i určitý podíl palic (Vidovič, 1980). Podle Šuk a kol. (1998) pro produkci kvalitní siláže jsou nevhodné rostliny s podílem palic pod 45 %. Vhodné jsou hybridy s vysokým výnosem suché hmoty 18 - 25 t/ha, odolné vůči poléhání, odolné vůči chladu, houbovým chorobám a tolerantní k suchu (Poláková, 2007). Kvalitu vyprodukované hmoty ovlivňuje podíl palic na celkové sušině rostliny. Vysoký podíl palic je podmínkou pro získání kvalitní silážní píče (Vrzal, 1995; Šuk a kol., 1998). Sušina palic se na sušině rostliny podílí 55 - 65 %. Podíl zrna by měl dosahovat 40 % v mléčně voskové zralosti, ve zralosti voskové by měl být vyšší než 45 % (Šuk a kol., 1998).

**Tabulka 5. Vliv obsahu sušiny na výnos sušiny z 1 ha při výnosu 60 t zelené hmoty**

Obsah sušiny (%)	Výnos sušiny (t/ha)	Výtěžek bioplynu (m <sup>3</sup> /ha)	Výtěžek metanu (m <sup>3</sup> /ha při 53 % CH <sub>4</sub> )	Výroba elektrické energie (kWh/ha)
28	16,8	10 584	5 610	18 511
30	18,0	11 340	6 010	19 834
31	18,6	11 718	6 211	20 495
32	19,2	12 096	6 411	21 156
33	19,8	12 474	6 611	21 817

Zdroj: Prokeš, 2012

Pokud máme využít výnosový potenciál, je vhodné se sklizní vyčkat až do ukončení ukládání škrobu v zrnech, které probíhá pozvolna. Pro efektivní produkci bioplynu je požadován vysoký výnos silážovatelné hmoty, 50 – 70 t/ha. Při tak vysokém odběru hmoty z pozemku je nutno doplnit řádově 250 kg/ha N, k čemuž je možné použít i vznikající digestát (Zimolka a kol., 2008). Optimální sušina je 27 - 33 % (Šuk a kol., 1998; Zimolka a kol., 2008). Výnos sušiny a výtěžek bioplynu je vidět v tabulce 5. Sklizňová sušina odpovídá mléčné - voskové zralosti (Amon a kol., 2007a). Období zralosti se doporučuje určovat podle tzv. mléčné linie v zrnu, která by v době sklizně ideálně měla být ve dvou třetinách zrna (Loučka, 2011), jak je možné vidět z obrázku 3.

**Obrázek 3. Mléčná linie u kukuřice**



Zdroj: Zimolka a kol., 2008

Hybridy stay green se silážují v porovnání s hybridy klasickými při relativně vyšším obsahu sušiny, optimálně se pohybuje mezi 33 - 35 %, tj. při nižším obsahu sušiny zbytku



rostliny (21 - 22 %) (Zimolka a kol., 2008). Ve voskové zralosti zrna při sušině cca 35 % je nutné na řezačce nastavit délku řezanky na 6 - 8 mm, při sušině 30 % pak 15 mm a při sušině 27 % by délka řezanky měla být asi 25 mm (Šuk a kol., 1998). Příkryl (2012) uvádí, že řezanka nad 7,5 mm vede k problémům možného podílu vzduchu a tím problematice tvorby plísní, alkoholu apod. Nižší sušina může způsobovat problémy s vyšší kyselostí siláže a odtokem silážních tekutin, sušina vyšší než 35 % přináší velké problémy s vytěsněním vzduchu a s tím spojenými ztrátami sušiny, výskytem plísní a zhoršenou aerobní stabilitou. Obsah sušiny lze ovlivnit například výškou strniště. Měla by být zhruba patnáct centimetrů (Loučka, 2011). Amon a kol. (2003) uvádějí, že produkce bioplynu z kukuřičné biomasy nejvíce závisí na obsahu bílkovin, tuku, celulózy, hemicelulózy a škrobu.

Kvalitní bioplynové hybridy v současnosti poskytují 350 až 380 m<sup>3</sup> metanu z 1 t sušiny, kdežto silážní hybridy určené ke krmení skotu mají výtěžnost metanu z 1 t sušiny většinou do 350 m<sup>3</sup> (Prokeš, 2012). Za vhodných klimatických podmínek může výtěžek z hektaru dosahovat 7 500 - 10 200 m<sup>3</sup> metanu (Amon a kol., 2007a). Podle Amona a kol. (2003) se kvalita kukuřice k výrobě bioplynu utváří především na poli. Vedle stanovištních podmínek určující obsah substancí vhodných k fermentaci (proteiny, lipidy, sacharidy) zejména pěstební opatření jako výběr hybridu, způsob pěstování a vývojová fáze rostlin v době sklizně a samotný průběh silážování.

Energetické hybridy kukuřice mají prodloužený vegetativní růst oproti silážním hybridům pro dojnice. Prodloužené vegetativní období je využito k tvorbě dalších listů a internodií. Energetické hybridy jsou vždy vyšší než klasické silážní hybridy a také mají silnější stéblo. Energie kukuřice je zastoupena jednak nestrukturálním polysacharidem tedy škrobem (při optimálním výnosu 30 - 35 %), tak i vysokým podílem strukturálních polysacharidů především hemicelulózy (18 - 21 %) (Prokeš, 2012).

U kukuřičné siláže pro výživu skotu je preferován vyšší podíl obsahu škrobu, který příznivě ovlivňuje vlastní stravitelnost a produkční účinnost. Kukuřičná siláž určená pro výrobu bioplynu by měla mít vyšší podíl strukturálních polysacharidů, které jsou efektivněji využívány pro tvorbu metanu. Pokud je kukuřičná siláž zkrmována jak dojnícím tak i pro potřebu bioplynové stanice tak nadřazovat výživu skotu nad bioplynovou stanicí (Příkryl, 2012).

## 3.2. Žito seté (*Secale cereale* L.)

### 3.2.1. Biologie

Patří do třídy jednoděložných *Monocotyledonae*, řádu lipnicotvaré *Poales*, čeledi lipnicovitých *Poaceae* a podčeledi lipnicovité vlastní *Pooideae* (Novák a Skalický, 2008).

Žito je mladším obilným druhem než je pšenice, ječmen, ale i oves. Jako samostatná plodina se objevilo přirozeným výběrem z porostů pšenice, kterou zaplevelovalo (Petr a kol., 2008; Petr a Capouchová, 1997). Při postupu pšenice na sever do drsnějších, pro ni méně příznivých podmínek žito převládlo, až zůstalo téměř v čisté kultuře. Přirozeným výběrem bylo dosaženo kratší vegetační doby, zkrácení a zvýšení pevnosti a nelámavosti klasového vřetene a zvětšení obilek. U uplatnění v horších podmínkách a konkurenceschopnosti proti jiným obilným druhům včetně plevelů jistě přispěl mohutnější kořenový systém (Petr a kol., 2008). Žito s ohledem na původní areál jeho rozšíření jako plevel pravděpodobně vzniklo v zemích na jih od Kavkazu a Kaspického moře (Lekeš a kol., 1990; Kalus a kol., 1953), patrně z plevelného druhu *Secale segetale* (Novák a Skalický, 2008). Nejstarší nálezy pocházejí z doby bronzové. V době železné, na počátku historické doby a za Říše římské bylo již žito rozšířeno severně do Alp a východně od Rýna. V dobách Keltů, Germánů a příchozích Slovanů bylo žito jejich oblíbenou chlebovou obilovinou (Petr a kol., 2008).

Vysoká výnosová stabilita, rychlý růst na jaře a méně vstupů ve formě hnojiv a fungicidů jsou jednoznačné výhody žita proti pšenici (Miedaner a kol., 2010). Listová plocha do nástupu zimy bývá u pšenice 35 - 38 cm<sup>2</sup> a u žita až 58 cm<sup>2</sup> (Petr a kol., 2008). V bohatých a teplých polohách vhodných pro pšenici se žitu nedařilo a bylo jako plevel postupně zatlačováno. Naopak v oblastech s horšími půdami a drsným podnebím se žito více uplatňovalo na úkor pšenice (Kalus a kol., 1953).

Žito jako přísně allogamní (cizosprašná) obilnina vyžaduje pro své opylení pyl z jiné žitné rostliny (Macháň, 1997), opyluje se větrem (Špaldon a kol., 1982). Za tepla zůstávají kvítky delší dobu otevřené. Za normálních podmínek kvete klas pět dní a celý porost osm až deset dní (Petr a kol., 2008). Minimální teplota klíčení je 1 - 2 °C (Kalus a kol., 1953; Špaldon a kol., 1982). Pro zdárný průběh vývinu žita by počasí do nástupu zimy mělo odpovídat dlouhodobému průměru dané oblasti Petr a kol., 2008). Optimální teplota klíčení je 20 - 22 °C, při teplotě 10 - 15 °C vzejde za 4 - 7 dní (Špaldon a kol., 1982). Snáší špatně

přemokření, hlavně na těžších půdách. Potřeba vody k naklíčení obilky je u žita 35 – 45 % z hmotnosti obilky (Petr a kol., 2008). Vyzimuje, i když je napadeno plísní sněžnou (Špaldon a kol., 1982).

Z agronomického hlediska se u žita cení tolerantnost k horším ekologickým podmínkám, dále zimovzdornost, mrazuvzdornost, nenáročnost na předplodinu, fyto-sanitární účinek a snášenlivost ke kyselým půdám. Dobré výnosy jsou v rozsahu hodnot pH od 4,9 do 6,8 (Petr, 1995). Největší část kořenů žita sahá do hloubky asi 25 cm. Jednotlivé kořeny mohou proniknout až do hloubky 2 m. Kořeny se prodlužují pouze do doby květu (Kalus a kol., 1953). Stéblo má vysoké 1,5 - 2,0 m. To však zvyšuje náchylnost k poléhání (Špaldon a kol., 1982).

### **3.2.2. Pěstování žita v ČR a světě**

Až do začátku 20. století bylo žito nejrozšířenější obilninou v Čechách. Těsně před 2. světovou válkou v letech 1934 - 1938 se žito pěstovalo na ploše 765 tis. ha. Poté následoval pokles osevních ploch v roce 1960 na 355 tis. ha (Petr a kol., 2008), roku 1995 na 79,3 tis. ha (Macháň, 1997). V roce 2014 osevní plocha žita dosahovala 25 137 ha (ČSÚ, 2015). Postupnou intenzifikací obilnářství, vyšší úrovní vkladů dávaných do jeho výroby začínala stále zřetelněji stoupat výnosová diference mezi jednotlivými druhy obilnin ve prospěch ozimé pšenice, ječmene a v teplejších oblastech i kukuřice ve srovnání s žitem (Lekeš a kol., 1990). Jejich nové odrůdy reagovaly výrazným zvýšením výnosů na rostoucí dávky průmyslových hnojiv, na rozšířenou regulaci plevelů herbicidy a ochranu proti chorobám a škůdcům. Příčiny poklesu ploch zmiňuje Petr a kol. (2008).

Příčiny poklesu osevních ploch:

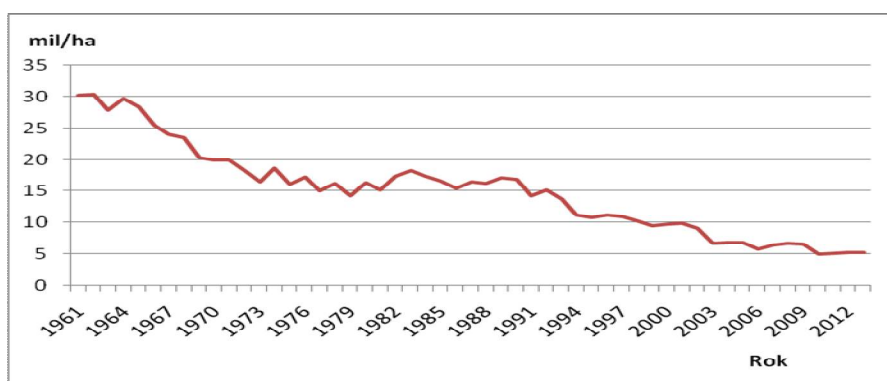
- pšenice začala žito převyšovat ve výnosech
- vyšší nákupní cenu pšenice než žita
- stoupala obliba bílého pšeničného pečiva
- technologie přípravy pšeničného chleba a pečiva byla pro industriální velkopekárny snadnější než příprava žitného chleba
- mletí žita není ekonomicky tak výhodné jako pšenice
- porosty žita mají sklon k poléhání a porůstání, což zhoršuje kvalitu zrna

- využití žita ke krmným účelům není tak rozšířené jako u pšenice a ječmene
- nestabilita trhu, tlak zahraničních dovozců, chybějící odbytové svazy

Do roku 1938 se pohybovala světová plocha žita v rozmezí 40 - 46 mil. ha, v roce 1960 poklesla na 31,7 mil. ha, v letech 1966 - 1970 na 21,4 mil. ha, 1976 - 1980 již jen na 13,2 mil. ha, v roce 1990 bylo oseto žitem ve světě 14,6 mil. ha, v roce 2001 pouze 9,89 mil. ha a v r. 2004 již jen 6,9 mil. ha (Petr a kol., 2008). Trend poklesu ploch žita na světě je vidět na grafu 3. Zvláště patrný je velký pokles ploch v 70. letech 20. století. V posledních letech se světová plocha ustálila lehce nad 5 miliony hektarů.

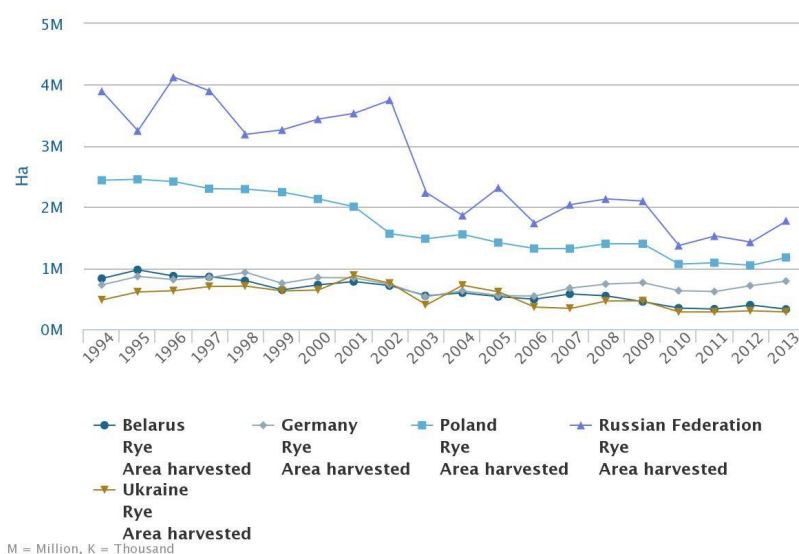
Největší pěstitele žita v roce 2005 byly Bělorusko 530 tis. ha, Ukrajina 609 tis. ha, Polsko 1 415 tis. ha a Německo 549 tis. ha. (Petr a kol., 2008). Současný trend největších pěstitelů je možno vidět na grafu 4. Stav v letech 1980 – 2014 v ČR ukazuje graf 5.

**Graf 3. Plocha žita ve světě (mil. ha)**



Zdroj: FAOSTAT, 2014

**Graf 4. Plochy vybraných států v letech 1994-2013 (mil. ha)**



Zdroj: FAOSTAT, 2014

**Graf 5. Vývoj osevů žita v letech 1980 – 2014**



Zdroj: ČSÚ, 2015

### 3.2.3. Agrotechnika

#### 3.2.3.1. Založení porostu, výživa

Významnou zvláštností žita při tvorbě hospodářského výnosu je velká autoregulační schopnost v porostu. Optimální počet rostlin je u klasických odrůd 200 - 350 na 1 m<sup>2</sup>, záleží na podmínkách stanoviště. Počet odnoží se obvykle pohybuje od 3 - 4 na jedné rostlině, u řídkých porostů je vyšší. Pro jistější přezimování a výnos je vhodnější podzimní odnožování (1 - 2 odnože na podzim) (Petr, 1995). Tradiční oblast pěstování v ČR jsou dnešní výrobní

oblasti bramborářské a obilnářské, ale i pícinářské. V této oblasti přichází v úvahu pěstování žita jen na vybraných pozemcích a převažují zde hlavně trvalé travní porosty. Je zde také velké riziko výskytu plísně sněžné, zejména při vysoké vzdušné vlhkosti, vysoké a dlouhotrvající sněhové pokrývce (Petr a kol., 2008).

Základní příprava před setím se řídí předplodinou (Petr a kol, 2008). Žito má přednosti které ulehčují jeho zařazení v osevním postupu. Jde o vyšší odolnost proti chorobám a škůdcům, vyšší schopnost potlačovat plevele, menší citlivost na předplodinu, půdní druh a zásobení půdy vápnem (Lekeš a kol., 1990). Po obilninách následuje podmítka (odstup od setí alespoň měsíc) jinak vynechat a udělat set'ovou orbu (18 - 20 cm). Dodržení hloubky orby, aby se nevyoralo podorničí (mrtvina), které žito špatně snáší. Hloubka setí se doporučuje u žita 3 - 4 cm (Petr a kol., 2008). Macháň (1997) doporučuje vysévat žito do hloubky 2 - 3 cm. Optimální doba setí žita vychází z podmínek pěstování, tj. např. podle nadmořské výšky, klimatických a půdních podmínek. Bramborářská a horská oblast v poslední dekádě září, řepařská oblast až do 10. října. Doba setí ovlivňuje hustotu (odnožování), zdravotní stav, přezimování.

Množství výsevu záleží na typu odrůdy žita. U klasických odrůd stačí 300 - 350 klíčivých obilek na 1 m<sup>2</sup> při dodržení všech agrotechnických zásad. Hybridní odrůdy se pěstují zásadně s nižším výsevem 250 - 300 klíčivých obilek na 1 m<sup>2</sup> (Petr, 1995).

K dobrým vlastnostem žita patří vyšší schopnost osvojovat si živiny z půdní zásoby (mohutnější kořenový systém) (Petr, 1995). Pro hnojení žita platí podobné zásady jako u pšenice. Také hnojení dusíkem má podobné zásady jako u pšenice. Převážnou část dusíku aplikujeme brzy na jaře, nejlépe v LAV. Na propustnějších půdách je vhodné rozdělení dávky dusíku do dvou přihnojení (regenerační a produkční) s maximální jednorázovou dávkou do 60 kg N na ha (Vaněk a kol., 2007). Petr a Capouchová (2007) uvádějí, že ve fázi plného odnožování přijme rostlina 26 % z celkové potřeby dusíku a ve fázi, kdy odnožování končí 23 %.

Nejvýznamnějším pěstitelským problémem u žita je poléhání. Předcházet poléhání lze volbou odolnějších odrůd, optimální dobou setí a přiměřeným množstvím výsevu (nepřehoustlé porosty), použitím morforegulatorů a přiměřenou dávkou dusíku (Petr, 1995).

### **3.2.3.2. Ochrana**

Plíseň sněžná je jednou z nejdůležitějších chorob především proto, že je častou příčinou prořidnutí nebo i zaorávek porostů žita. Porosty napadené plísní sněžnou se co nejdříve vláčejí, aby se vyvláčely odumřelé rostliny a zbytky mycelií. Tam, kde došlo k tzv. vytažení rostlin mrazem, se co nejdříve přiválí rýhovaným válcem, jak to stav půdy dovolí. Autor zmiňuje při ošetření fungicidy nárůst výnosu ve fuzariózních oblastech z 6,15 t/ha na 7,58 t/ha, tj. 1,43 tuny. Podobně zvýšil výnos po ošetření i v nefuzariózních oblastech z 6,54 na 7,97 t/ha (Petr a kol., 2008). První příznaky se mohou objevit již na klíčících rostlinách, které odumírají. Vzcházející rostlinky jsou pokroucené, někdy se na nich tvoří narůžovělý povlak mycelia. Nejčastější a nejnápadnější jsou příznaky v předjaří. Napadené rostliny mají ztrouchnivělé kořeny a krčky. Na mrtvém pletivu je často vidět bělavý, místy mírně narůžovělý povlak mycelia houby. Houba je přenosná osivem, přežívá i na zbytcích rostlin v půdě (Kazda a kol., 2010).

Žito má vysokou konkurenční schopnost vůči plevelům (Petr a kol., 2008). Mezi nejrozšířenější a nejdůležitější plevely patří z jednoděložných především chundelka metlice, psárka polní, lipnice roční a v poslední době rychle šířící se sveřepy. Z dvouděložných plevelů patří mezi nejdůležitější především svízel přitula, heřmánkovité plevely, úhorník mnohohlíbný, hluchavky, rozrazilky a v posledních letech rychle se šířící violka rolní a zemědělský lékařský (Kazda a kol., 2010).

### **3.2.4. Využití**

Z pohledu využití se žito dle Petr a kol. (2008) dělí na:

- Zrno – sklizňová zralost pod 17%
- Zelená píce – doplňkový význam
- Sláma – spalování, podestýlka
- Siláž a senáž - bioplyn

### **3.2.5. Odrůdy**

Odrůdy žita se dělí podle způsobu, jak byly vyšlechtěny na populační odrůdy a hybridy (Petr a kol., 1998). Hybridní šlechtění poskytuje nad populačním výhody. Využívá heterozního efektu, objevujícího se u kříženců  $F_1$  při křížení mezi nepříbuznými

šlechtitelskými populacemi. Umožňuje využít nejen vlivy obecné, ale taky specifické kombinační schopnosti pro zlepšení odrůd. S intenzivním hybridním šlechtěním žita bylo započato na počátku 70. let v souvislosti se šlechtitelským využitím geneticky podmíněné cytoplazmatické pylové sterility. Podíl odrůdy na výnosu se odhaduje na 25 – 30 %. Při pěstování s nižší intenzitou je to dokonce 30 až 40 % (Petr a kol., 2008).

Výsledky odrůdových pokusů ukazují u hybridů zvýšení výnosu o 5 - 25 % proti nejlepším syntetickým odrůdám (Lekeš a kol, 1990). Jejich hybridní charakter je založen na cytoplazmatické pylové sterilitě. Podstatou vysokého výnosu je hlavně vyšší produktivita klasu, zejména větší počet zrn v klasu. U žita jako cizosprašné obilniny se o produkci hybridního osiva pokoušeli šlechtitelé již dříve, ale až v roce 1984 byly zavedeny první odrůdy hybridů s prokazatelným zvýšením výnosu (Petr a kol., 2008). Miedaner a kol. (2010) uvádějí, že zvýšení výnosu může být až o 30 %. Petr a kol. (2008) tvrdí, že hybridy jsou vhodnější do intenzivnějších podmínek pěstování. Heteroze spočívá ve zvýšení životnosti a výnosnosti rostlin, jejich odolnosti proti nepříznivým činitelům apod. U hybridního žita se projevuje vyšším počtem klasů na ploše, větším počtem obilek v klasu a způsobem ukládání asimilátů do zrna (Macháň, 1997). V Německu se hybridy pěstují na 70 % plochy. Pro výrobu bioplynu jsou hybridy nejdůležitější. Vysoká odolnost proti poléhání zabraňuje velkým škodám při sklizni (Miedaner a kol., 2010).

### **3.2.6. Žito a bioplyn**

Vzhledem k hlubokému kořenovému systému, velké mrazuvzdornosti a náročnosti živin se může žito pěstovat na stanovištích, které neumožňují pěstování kukuřice. Žito má ve srovnání s ostatními energetickými plodinami nízké hektarové náklady. Díky dřívější sklizňové zralosti umožňuje setí následné plodiny třeba rané kukuřice nebo čiroku (Roux a kol., 2010).

Optimální fází ke sklizni žita je mléčná zralost (Roux a kol., 2010; Miedaner a kol., (2010). Naopka Jansone a Gaile (2011) uvádí, že optimální doba sklizně u žita je doba kvetení. S pozdější sklizní klesá výtěžnost methanu až o 10 %. Miedaner a kol. (2010) uvádějí, že optimální sušina při sklizni je 32 - 35%, porovnání vlastností kukuřičné a siláže uvádí tabulka 6. S pozdější sklizní narůstá obsah ligninu což může mít negativní vliv na výnos metanu (Amon a kol., 2005).



**Tabulka 6. Vlastnosti kukuřičné a žitné siláže**

Substrát	Sušina (%)	Org. sušina (% sušiny)	Dusík	Amonný dusík	Fosfor	Výtěžnost bioplynu		Obsah metanu (objem. %)
						(% sušiny)		
						m <sup>3</sup> /t čerstvé hmoty	m <sup>3</sup> /t sušiny	
Kukuřičná siláž	20-35	85-95	1,1-2	0,15-0,3	0,2-0,3	170-200	570-700	50-55
Žitná siláž z celých rostlin	30-35	92-98	4,0	0,57	0,71	170-220	550-680	cca 55

Zdroj: Kratochvílová a kol., 2009

### 3.3. Siláž

Konzervovaná krmiva – siláže a senáže představují v intenzivních chovech základní a mnohdy také výhradní složku krmných dávek skotu, krav zejména (Doležal a kol., 2010). Hlavním důvodem silážování je uchování krmiv s minimálními ztrátami organických živin s vysokou nutriční hodnotou (Šuk a kol., 1998). Po krátké počáteční aerobní fázi, v které se spotřebuje zbytek kyslíku, nastává hlavní fáze fermentace, kde se tvoří mléčné kyseliny pomocí bakterií mléčného kvašení (LAB), a tím dochází ke snížení hodnoty pH na hodnoty kolem 4,0. Při tomto pH je omezen růst škodlivých mikroorganismů, zejména klostridií a kvasinek, a tímto zpravidla dosáhneme kvalitní siláže. Toto období trvá několik dní. Výsledkem je uchování živin a energie (McDonald a kol., 1991). Při nižší hodnotě pH se také zrychlí chemická hydrolyza některých polysacharidů, jako hemicelulózy a tím u siláží může dojít i ke snížení obsahu vlákniny (Příkryl a kol., 2014). Rovnice tvorby mléčné kyseliny pomocí homofermentativních mléčných mikroorganismů (např. *Enterococcus faecium*, *Lactobacillus plantarum*)  $C_6H_{12}O_6 \rightleftharpoons 2 CH_3-CHOH-COOH$  (Příkryl, 2012).

Kukuřice náleží k snadno silážovatelným druhům zelené píce. Vojtěška naproti tomu se siláží obtížně. Hlavním důvodem rozdílné silážovatelnosti obou uvedených druhů zelené píce je rozdílný obsah živin. Čím vyšší je obsah cukrů v zelené hmotě, tím lepší jsou podmínky pro rozvoj mléčných bakterií (Schmidt, 1972). Silážní kukuřice obsahuje dostatek vodorozpustných sacharidů (15 - 30 % v 1 kg sušiny), má nízkou pufrací kapacitu (nízký obsah dusíkatých látek, bazických prvků a dusičnanů) (Zimolka a kol., 2008). Porovnání některých živin ukazuje tabulka 7. V jednom gramu čerstvé zelené hmoty je až 100 000 bakterií mléčného kvašení. Je pravděpodobné, že vedle příznivého poměru živin je také vysoký obsah těchto bakterií příčinou dobré silážovatelnosti kukuřice (Schmidt, 1972).

**Tabulka 7. Porovnání obsahu některých živin v jednotlivých plodinách**

Plodina	N-látky	Vodorozpustné cukry	Hemicelulóza	Škrob
Kukuřice				
• mléčná zralost	8 – 9	2 – 5	17 – 22	25
• mléčně-vosková	8	0 - 2	15 - 20	28 - 35
Vojtěška	22 - 25	2 - 3	8 - 11	0
Jetel	19 - 22	6 - 8	10 - 12	0
Trávy	12 - 18	8 - 14	10 - 20	0 - 8
Směsky hrachu a lupiny	13 - 15	0 - 2	17 - 20	6 - 10
Čirok	13 - 18	5 - 10	18 - 25	0 - 2

Zdroj: Prokeš, 2009

Zimolka a kol. (2008) uvádí, že aerobní znehodnocení siláží zůstává i v současné době velkým technickým problémem. Snaha o zlepšení aerobní stability siláží spočívá v možnostech inhibice kvasinek a plísní (pomocí organických kyselin nebo biologických inokulantů, které produkují ve větší míře kyselinu propionovou nebo octovou). Udusání a anaerobní podmínky umožňují růst bakterií mléčného kvašení. Udusání je jedno z nejdůležitějších praktických opatření při silážování (Schmidt, 1972). Požaduje se, aby silážovaná hmota byla nejprve rovnoměrně rozvrstvena (výška vrstvy maximálně 30 cm) a následně hned důkladně dusána již od prvních vrstev, neboť dusání až několika vrstev nad sebou je nevyhovující a nedostatečné (Zimolka a kol., 2008). Intenzitu dusání se doporučuje

kontrolovat měřením teploty řezanky v hloubce zhruba 15 cm (Loučka, 2011). Mikrobiální zahřátí siláží na teplotu 30 °C je prvním příznakem technologické nekázně. Siláže s teplotami nad 35, resp. 40 °C se dají většinou obtížněji léčit. Mikrobiální procesy jsou již velmi silné a možnost zchlazování hmoty je zpravidla velmi obtížná. Tepelné znehodnocení způsobuje vedle velkých ztrát také horší příjem zvířaty a následně snížení užitkovosti zvířat (Zimolka a kol., 2008).

Přikryl (2012) uvádí, že důležitým aspektem je vyvarovat se naskladňování kukuřice nad horní hranu žlabu. Mléčné bakterie se přidávají do silážované píce v takovém množství, aby se rychlým rozmnožováním vytvořily dominantní postavení před nežádoucími mikroorganismy, které jsou v epifytní mikroflóře také obsaženy (Šuk a kol., 1998). Vlivem navýšení epifytní mikroflóry dochází k výrazně vyšší produkci alkoholu. Alkohol vzniká mikrobiální přeměnou jak strukturální, tak především nestrukturální energie, což má vliv na snížení obsahu energie a nižší produkci metanu (Přikryl, 2012).

## 3.4. Bioplyn

### 3.4.1. Bioplyn obecně

Bioplynem se označuje směs plynů s vysokým obsahem metanu a oxidu uhličitého, která vzniká anaerobní fermentací vlhkých organických materiálů v technických zařízeních (Pastorek, 2012). Při ní se za nepřístupu vzduchu vytváří směsice plynů z organické hmoty. Tento velmi rozšířený proces se nachází v přírodě zcela běžně a můžeme se s ním setkat například v rašeliništích, na dně jezer, v jímce s kejdou a v bachoru přežvýkavců. Bez přístupu vzduchu dochází k vytvoření směsice plynů - (bioplynů) z organické hmoty. Vytvořená směsice plynů se skládá přibližně ze dvou třetin metanu a jedné třetiny oxidu uhličitého. Vedle toho se v bioplynu nalézají ještě nepatrné množství vodíku, sulfanu, amoniaku a ostatních stopových složek (Kratochvílová a kol., 2009). Anaerobní mikroorganismy produkující metan patří mezi nejstarší živé mikroorganismy na Zemi (Straka a kol., 2003). Zastoupení jednotlivých prvků uvádí tabulka 8. Bioplyn lze vyrábět z kejdy, chlévské mrvy, biologicky odbouratelných domovních odpadů, odpadů z ČOV a potravinářského průmyslu, ale i z energetické fytomasy k tomu účelu pěstované (Kára a Pastorek, 2005). Většinou výrobci kogeneračních technologií kladou minimální požadavky na vlastnosti používaného bioplynu. Požadované vlastnosti bioplynu by měly být

dodržovány, aby nedocházelo ke zkracování intervalů údržby a životnosti motorů (Straka a kol., 2003). Požadované vlastnosti na složení je uvedeno v tabulce 9.

Anaerobní digesce byla v minulosti uplatňována především při stabilizaci čistírenských kalů a při zpracování zvířecích fekálií (Ust'ak a kol., 2006). Standardním základem pro zemědělské bioplynové stanice by měly být zvířecí exkrementy a hlavním vstupem z hlediska výtěžnosti bioplynu by pak měly být cíleně pěstované plodiny (MZe, 2007).

**Tabulka 8. Složení bioplynu**

Složka	Procentuální obsah
Metan – CH <sub>4</sub>	45 - 75 %
Oxid uhličitý CO <sub>2</sub>	25 - 48 %
Vodík H <sub>2</sub>	0 - 3 %
Sirovodík H <sub>2</sub> S	0,1 - 1 %
Dusík	1 - 3 %

Zdroj: Ust'ak a kol., 2006

**Tabulka 9. Požadované vlastnosti bioplynu**

Vlastnost	Označení	Hodnota
Výhřevnost	Q <sub>i</sub>	≥7 kWh(m <sup>3</sup> ) (14 MJ/m <sup>3</sup> )
Relativní vlhkost	φ	< 90 %
Síra, celkový obsah	S	≤ 2,2 g/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>
Obsah sulfanu	H <sub>2</sub> S	≤ 0,15 % objem.
Křemík	Si	< 10 mg/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>

Zdroj: Kratochvílová a kol., 2009

### **3.4.2. Historie výroby bioplynu**

V roce 1897 bylo v indické Bombaji postaveno první zařízení, v němž byl plyn využit ke svícení a od roku 1907 také pro pohon motorů vyrábějících elektrický proud (Schulz a Eder, 2004). Na technické univerzitě v Darmstadtu bylo v roce 1947 vyvinuto bioplynové zařízení pro menší zemědělské provozy s horizontálním fermentorem (Schulz a Eder, 2004).

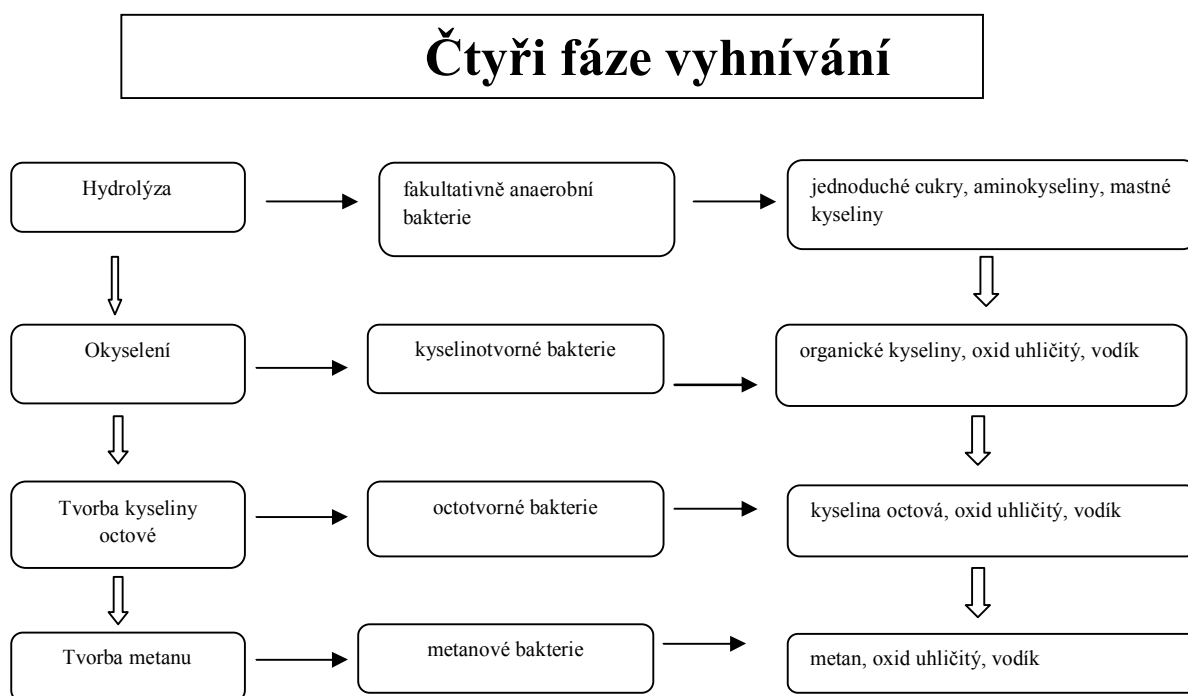
### **3.4.3. Vznik bioplynu**

Biologického rozkladu organických látek se účastní mnoho různých mikroorganismů, proto jde o složitý mnohastupňový proces, na jehož konci vznikne bioplyn (Pastorek, 2012). Proces tvorby bioplynu je znázorněn na obrázku 4. V hydrolýze jsou rozloženy komplexní sloučeniny výchozího materiálu (např. polysacharidy, bílkoviny, tuky) na jednodušší organické sloučeniny (např. aminokyseliny, monosacharidy, mastné kyseliny) (Kratochvílová a kol., 2009; Pastorek, 2012; Schulz a Eder, 2004; Ust'ak a kol., 2006).

Vytvořené meziprodukty jsou pak v acidogenezi dále rozkládány kyselinotvornými bakteriemi na nižší mastné kyseliny (octovou, propionovou a máselnou) a na oxid uhličitý a vodík (Kratochvílová a kol., 2009). Dokončí se tvorba bezkyslíkatého prostředí (Pastorek, 2012). Následně jsou tyto produkty v acetogenezi přeměněny bakteriemi na prekurzory (kyselinu octovou, vodík a oxid uhličitý) (Kratochvílová a kol., 2009; Pastorek, 2012; Schulz a Eder, 2004). Protože příliš vysoký obsah vodíku je škodlivý pro acetogenní bakterie, musejí tyto producenti kyseliny octové utvořit s bakteriemi metanogeneze těsné životní společenství. Při vzniku metanu se spotřebovává vodík. V metanogenezi je tvořen metan (Kratochvílová a kol., 2009). Pro stabilitu tohoto procesu je velmi důležitá optimální rovnováha v kinetice jednotlivých fází, probíhajících s odlišnou kinetickou rychlostí. Metanogenní fáze probíhá přibližně 5krát pomaleji než první tři fáze. Tomu je třeba se přizpůsobit konstrukcí bioplynových technologií a dávkování surového materiálu, jinak hrozí přetížení fermentoru a s následnými komplikacemi (Pastorek a kol., 2004).

Pastorek (2012) uvádí, že hydrogenotrofní mikroorganismy transformují vodík a oxid uhličitý, vytvořený ve druhé a třetí fázi procesu, na metan a acetotrofní mikroorganismy transformují kyselinu octovou na metan a oxid uhličitý. Metanové bakterie mohou pracovat a množit se jen tehdy, když jsou substráty dostatečně zality vodou (alespoň z 50 %) (Schulz a Eder, 2004).

Obrázek 4. Fáze tvorby bioplynu



Zdroj: Schulz a Eder (2004)

Uhlohydráty jsou hlavním zdrojem bioplynu z běžně používaných materiálů pro anaerobní fermentaci. Rozklad bílkovin je z hlediska měrné produkce bioplynu stejný jako u uhlohydrátů, má však větší výtěžnost metanu, jak je vidět v tabulce 10. Je však také doprovázen vývinem nežádoucích plynů jako například sulfanu, kterého se před konečným využitím bioplynu snažíme zbavit pro jeho výrazné korozivní účinky a jedovatost (Pastorek, 2012). Ještě větším problémem je organicky vázaný dusík. V anaerobních procesech je převáděn do amonných solí. Pokud stoupne koncentrace amonných iontů anebo pH, může dojít k významnému zbrzdění fermentačních pochodů toxickými vlivy volného, nedisociovaného amoniaku (Straka a kol., 2003). Nejvyšší měrnou produkci bioplynu vykazují tuky. Ve fytomase jich bývá málo, exkrementy a zvláště odpady živočišného původu jich obsahují více. Je třeba dát pozor na přetížení fermentoru a prodloužit dobu zdržení materiálu ve fermentoru (Pastorek, 2012). Probíhají-li všechny čtyři fáze v jedné soustavě, hovoří se o jednostupňovém systému (Ust'ák a kol., 2006).

**Tabulka 10. Látky, jejich výnos bioplynu a obsah metanu v něm**

Látka	Výnos plynu v m <sup>3</sup> bioplynu/kg sušiny	Obsah metanu
Proteiny	0,700 m <sup>3</sup> /kg	71 %
Tuky	1,250 m <sup>3</sup> /kg	68 %
Uhlovodíky	0,790 m <sup>3</sup> /kg	50 %

Zdroj: Schulz a Eder (2004)

Metanové bakterie pracují při teplotě 0 - 70 °C. Rychlost procesu vyhnívání je na teplotě silně závislá. Čím vyšší je teplota, tím rychleji nastává rozklad a tím vyšší je produkce plynu, tím kratší je doba vyhnívání a tím nižší je obsah metanu v bioplynu (Schulz a Eder, 2004).

Bakterie lze rozdělit do tří skupin: psychrofilní, mezofilní a termofilní (Kratochvílová a kol., 2009). Psychrofilní bakterie mají své optimum až do 25 °C. Schulz a Eder (2004) uvádí teploty pod 20 °C. Největší část známých metanových bakterií má své růstové optimum v mezofilním teplotním rozmezí mezi 32 - 42 °C (Kratochvílová a kol., 2009; Khanal, 2008). Schulz a Eder (2004) uvádí teploty 25 - 35 °C. Termofilní kultury bakterií mají své optimum v rozmezí mezi 50 - 57 °C (Kratochvílová a kol., 2009; Khanal 2008). Schulz a Eder (2004) uvádí teploty nad 45 °C. Straka a kol. (2003) uvádí, že termofilní procesy dosahují vysoké účinnosti rozkladu zpracovaného materiálu.

Negativa:

- Vyšší náklady na ohřev reaktorů, eventuálně na jejich izolaci
- Vyšší koncentrace těkavých alifatických karbonových kyselin ve fugátu

Vyšší transfer volného amoniaku a sulfanu do fugátů

Hodnota pH je závažný limitující faktor procesu, který je důležitý pro růst metanogenních bakterií (Ust'ak a kol., 2006). Optimální pH pro hydrolyzující a kyselinotvorné bakterie je 4,5 - 6,3 (Kratochvílová a kol., 2009). Bakterie vytvářející kyselinu octovou a metan potřebují hodnotu pH v neutrální oblasti 6,5 - 7,5 (Ust'ak a kol., 2006.) Kratochvílová a kol. (2009) uvádí 6,8 - 7,5 pH zatímco (Weiland, 2010) uvádí optimum pro

metanové bakterie v rozmezí pH 7 - 8. U kyselých substrátů, jako jsou výpalky, syrovátka a siláž, bývá zapotřebí přidat vápno, aby se hodnota pH zvýšila (Schulz a Eder, 2004).

Velmi často je proces anaerobní digesce rozdělen do dvou stupňů. V prvním probíhá hydrolyza a okyselení, v druhém – acetogeneze a metanogeneze. Druhý stupeň obvykle vyžaduje nádrže většího objemu a delší čas prodlevy procesu (Ust'ak a kol., 2006). Při kvašení je třeba, aby mikroorganismy měly k dispozici všechny potřebné živiny, uhlík, dusík, fosfor, vodík a síru pro konstrukci mikrobiálních bílkovin. Také specifické látky musí být přítomny, například stopové prvky, železo a některé vitamíny. Poměr C : N má být v optimálním rozsahu (10 až 15) : 1. V souvislosti s růstem bakteriálních populací mají v provozu důležitou úlohu i omezující látky, které se mohou dostat nátokem do fermentoru. Jedná se především o různé dezinfekční prostředky používané při asanaci stájí, saponáty při mytí dojící techniky, oleje, nafta a jiné provozní kapaliny. Také je tu nebezpečí přítomnosti antibiotik používaných ve stájích. Omezovat metanogenezi může nakonec i čpavek vznikající ve větší míře při fermentaci (Haš a kol., 1985).

#### **3.4.4. Technologie výroby**

Doba kontaktu substrátu ve fermentoru má s teplotou velký vliv na stupeň rozkladu. Krátké doby kontaktu přináší velký plynový výkon na m<sup>3</sup> vyhánějící nádrže a den, ale nízký výnos na kg organické sušiny a nízký stupeň rozkladu. Průměrná doba kontaktu vzrostla u zařízení postavených od roku 1985 z 35 dní na 51 dní (Schulz a Eder, 2004).

Dávkování materiálu se může provádět kontinuálně, semikontinuálně nebo dávkově (Pastorek, 2012). Straka a kol., (2003) uvádí, že suspenzi je nutné promíchávat z několika důvodů:

- Aby se zabránilo usazování hutných a neodtažitelných sedimentů na dně nádrže
- Aby se omezilo vzplývání lehkých částic a tvorba plovoucího nebo pěnového koláče na hladině suspenze
- Aby se homogenně rozdělila teplota suspenze uvnitř reaktoru

Aby se pravidelnou homogenizací prostředí podpořil výměnný transport hmot v buněčném komplexu mikroorganismů



Pro udržení fermentačního procesu musí být doba zdržení zvolena tak, aby stálým vyměňováním obsahu reaktoru nebylo vyplaveno více bakterií, než kolik jich může dorůst (Kratochvílová a kol., 2009).

Technologické celky bioplynové stanice

- Příjmová část
- Fermentor či soustava fermentorů
- Úprava a skladování bioplynu
- Kalová koncovka

Technologické celky se svým uspořádáním odlišují podle toho, jsou-li určeny pro zpracování tekutého (čerpatelného) nebo tuhého (vysokosušivého) materiálu (Pastorek, 2012). Mokrý proces má jako horní hranici vlhkost substrátu 10 % (Ust'ak a kol., 2006). Pastorek (2012) uvádí až 12 % sušiny, vřetenová čerpadla zvládají až 14 - 16 % sušiny. Při suchém procesu se vlhkost fermentovaného materiálu pohybuje mezi 25 až 40 % (Ust'ak a kol., 2006). Pastorek (2012) uvádí 20 - 40 %. V bioplynových stanicích se nejvíce používají fermentory na mokrou fermentaci.

K dosažení potřebných procesních teplot a k vyrovnání tepelných ztrát musí být materiál ohříván, což se může dít do fermentoru integrovaným výměníkem tepla, popřípadě topením (Kratochvílová a kol., 2009). Spotřeba tepla pro vlastní procesy bioplynové stanice závisí zejména na tepelné ztrátě fermentorů, druhu teplotního procesu fermentace (mezofilní nebo termofilní). Ve většině případů se spotřeba tepla pro technologické ohřevy zemědělských BPS pohybuje v rozmezí 25 - 40 % (MZe, 2007). Silné kolísání popřípadě nedodržení určité teplotní hodnoty by mohlo vést ke zbrzdění fermentačního procesu nebo v nejhorším případě k zastavení procesu (Kratochvílová a kol., 2009).

Plynojem má za úkol plyn shromažďovat (Schulz a Eder, 2004). Základní funkcí plynojemu je akumulace plynu pro vyrovnání mezi výrobou a spotřebou (Straka a kol., 2003). Materiál, ze kterého jsou plynojemy konstruovány, bývá nejčastěji gumotextilní fólie (membrána), kov, plast (PVC), stavební materiál, železobeton v kombinaci s gumotextilním vakem (Pastorek, 2012). Hlavní nevýhodou bioplynu je relativně malá hustota energie v poměru k objemu. 1 m<sup>3</sup> bioplynu tak obsahuje stejné množství energie jako 0,6 až 0,7 l topného oleje (Schulz a Eder, 2004).

### **3.4.5. Úprava bioplynu**

Bioplyn vycházející z fermentoru je přibližně ze 100 % nasycen vodní parou a obsahuje velké množství sulfanu (Schulz a Eder, 2004). Sulfan je jedovatý a páchnoucí plyn (Kratochvílová a kol., 2009). Rozkladem bílkovin se v bioplynu vyskytuje až 4,5 % sulfanu (H<sub>2</sub>S). Vysoký obsah sulfanu se nachází v bioplynu z kejdy prasat (Pastorek, 2012).

Ve spojení s vodní parou dochází k vytvoření kyseliny sírové, která koroduje nejen motory, ale také plynovody, vedení odpadních plynů atd. (Kratochvílová a kol., 2009; Schulz a Eder, 2004). Při odsíření se používají biologické, chemické a fyzikální postupy. Biologické odsířování je často prováděno v plynojemu za přítomnosti kyslíku a bakterie *Sulfobacter oxydans*, která přemění sulfan za spoluúčasti kyslíku na elementární síru (Kratochvílová a kol., 2009), jako i na kyselinu sírovou a vodu (Schulz a Eder, 2004). Abychom zvýšili hnojivový účinek zfermentovaného substrátu, může být odpadající síra znovu přiváděna ke zkvašenému substrátu (Kratochvílová a kol., 2009). Množství nafoukaného vzduchu by mělo činit 3 - 5 % přítomného množství bioplynu (Schulz a Eder, 2004).

Chlazení bioplynu je často prováděno v plynovodu. Patříčným sklonem (spádem) při poskládání plynovodu je kondenzát sbírán odlučovačem kondenzátu, který je vystaven v jeho nejhlubším bodu (Kratochvílová a kol., 2009). Trubky musí být uloženy v nezámrném prostoru nebo musí být dobře izolovány (Schulz a Eder, 2004).

### **3.4.6. ČR a svět**

V Německu v poslední době prudce narůstá počet a výkon bioplynových stanic. Rok 2005 (650 MW - 2680), 2006 (1100 MW – 3500), 2007 (1271 MW – 3711), 2008 (1377 MW – 3891), 2009 (1893 MW – 4984), 2010 (2291 MW - 5905), 2011 (2297 MW – 7320) (Fachverband Biogas e.V., 2012).

V ČR je ke dni 1.1.2014 připojeno 500 bioplynových stanic s instalovaným výkonem 392,35 MW. Podíl bioplynu na OZE je 22,1 % (CZBA, 2015).

V Číně bylo do roku 2009 v provozu 35 070 000 fermentorů, což představuje 87 % světového počtu. Výstavba je podporována vládními stimuly ve formě pobídek. Vláda se tím snaží získávat ekologicky šetrnější a bezpečnější zdroj energie (Chen a Chen, 2012).

### **3.4.7. Výhody bioplynu**

Především u exkrementů a odpadů nelze spoléhat na tabulkové hodnoty v původní hmotě, ale je třeba zjistit obsah sušiny konkrétního materiálu, např. obsah sušiny kejdy může v závislosti na použité technologii a míře dodržování technologické kázně kolísat mezi 3 - 8 %, což může znamenat násobný rozdíl produkce bioplynu na jednotku hmotnosti v původní hmotě. Při spalování bioplynu v kogenerační jednotce dochází kromě elektřiny také k významné produkci tepla, která bývá zpravidla větší než produkce elektrická (MZe, 2007).

Bioplyn je energetický zdroj, který lze velmi výhodně na farmách používat k vytápění, k výrobě elektrické energie. Ve zvláště výhodných podmínkách i k pohonu motorových vozidel. Tímto jsou nahrazovány klasické zdroje energie (uhlí, topné oleje, nafta) (Pastorek a Wolff, 1993).

Bioplyn pocházející ze zemědělství může snížit emise skleníkových plynů až o 75 %. Plodiny využívané k výrobě bioplynu byly dosud využívané převážně k lidské spotřebě nebo k výživě zvířat. Výroba bioplynu v zemědělství může přispět k rozšíření osevních postupů. Střídáním plodin dochází ke zvýšení tvorby biomasy a energie z hektaru (Amon a kol., 2006). Udržitelná produkce bioplynu by neměla být založena na maximálních výnosech z jednotlivých plodin, ale na maximálním výnosu metanu a udržitelném systému hospodaření (Amon a kol., 2007a). Výroba bioplynu je klíčovou technologií pro udržitelné využívání zemědělských zdrojů. Při výrobě bioplynu je živinový cyklus uzavřen. Vybrané plodiny musí produkovat hodně biomasy a složky v optimálním poměru. Doba sklizně má zásadní význam na energetický výnos z hektaru (Amon a kol., 2006). Heiermann a kol. (2009) uvádí, že zemědělec musí dosáhnout nejlepšího možného kompromisu mezi výnosem plodin (produkce sušiny) a rostlinné kvality (stravitelnosti).

Konkurenceschopnost bioplynu bude stoupat se zvyšujícími se cenami energií a environmentálními požadavky občanů (Kára a Pastorek, 2005). Možnost snížení intenzity zápachu kejdy je pro mnoho zemědělců rozhodujícím důvodem pro stavbu bioplynové stanice (Schulz a Eder, 2004).

### **3.4.8. Využití bioplynu**

Kogenerace je nejčastějším způsobem využití bioplynu v České republice (Trávníček a Karafiát, 2009). Kogenerací se rozumí současná výroba síly (mechanická energie, dále většinou převáděná na elektrickou energii) a tepla (Kratochvílová a kol., 2009). Celková

účinnost přeměny energie obsažené v bioplynu u kogeneračních jednotek se pohybuje v rozmezí 80 - 90 %. Přičemž tepelná účinnost zařízení k elektrické účinnosti bývá většinou v poměru 5:4. U některých typů spalovacích zařízení je však tento poměr i 1:1 (Trávníček a Karafiát, 2009). Přímé spalování bioplynu k přípravě tepla je možné bez problémů a je dlouhodobě využíváno např. na menších čistírnách odpadních vod (Kratochvílová a kol., 2009). Dalšími možnostmi využití bioplynu je úprava na vlastnosti zemního plynu a užívání jako pohon motorových vozidel nebo distribuce ve stávajících rozvodech zemního plynu (MZe, 2007).

### **3.4.9. Digestát**

Výsledkem fermentačního procesu v bioplynové stanici je stabilizovaný materiál v kapalné podobě, digestát, který lze použít jako kvalitní organominerální hnojivo nebo jako surovinu pro výrobu kompostu (MZe, 2007; Ust'ak a kol., 2006). Po mechanickém procesu je digestát uhnílá tuhá složka – separát a tekutá složka fugát (Váňa, 2010). Po odseparování digestátu vznikne separát. Separovaný digestát je možné využít pro přípravu kompostů, ale i pěstebních substrátů a zemin. Separát obsahuje tuhou nerozloženou frakci organických látek vláknité povahy, které následně v půdě podléhají intenzivní mineralizaci. Separát obsahuje v průměru přibližně 29,3 % obsahu sušiny (Pawlica, 2010).

Podle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech je digestát hnojivem organickým (Hezký, 2012). Obsah organické sušiny výchozího materiálu je fermentací zmenšen o přibližně 24 - 80 %, neboť velká část sloučenin uhlíku organické sušiny je rozložena na metan ( $\text{CH}_4$ ) a oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) a je energeticky využita jako technicky zhodnotitelný plyn (Kratochvílová a kol., 2009). Rozkladem organické hmoty se uvolňuje dusík. Většina uvolněného dusíku se v substrátu nachází ve formě amonných iontů ( $\text{NH}_4^+$ ). U kejdy dojde k zvýšení o 5 – 10 % amonných iontů. Fermentační proces způsobí znatelný vzestup obsahu amoniakálního dusíku, zhruba z 10 na 30 % z celkového dusíku. Přístupnost dusíku se tak zvýší v prvním roce asi o 50 % (Kratochvílová a kol., 2009). V kapalné části digestátu (fugátu) je sice dusík minerální, rostlinám přístupný. V sušině fugátu ho může být až 10 %. Ale obsah sušiny fugátu je jen 1 – 3 % a obsah dusíku v kapalném fugátu je jen 0,15 – 0,30 % (Kolář a kol., 2010). Po fermentaci metanu se zvyšuje hodnota pH ve fermentačním zbytku na 8 až 8,5 pH, to má vliv na uvolňování amoniaku z fermentovaného substrátu (Kratochvílová a kol., 2009).

Nejlabilnější frakce organické hmoty krmiv využila zvířata, mírně labilní frakce výkalů spotřebovala anaerobní digesce a do půdy k hnojení přináší digestát už jen stabilní,

špatně rozložitelnou organickou hmotu (Hezký, 2012). Nedochází k znehodnocování rostlinných živin, zejména dusíku (Kára a Pastorek, 2005). Fugát může být použit zpětně v procesu bioplynové stanice např. k ředění. Fugát obsahuje specifické množství živin, tudíž při úplném převedení zpět do oběhu zařízení může dojít ke zvýšení koncentrace různých látek. Při opakovaném používání zbytkové vody je nutné dávat pozor, aby se v procesu nekoncentrovaly soli nebo např. amonná forma dusíku, což by mohlo ohrozit fermentační proces (Kratochvílová a kol., 2009).

Weiland (2010) uvádí, že digestát může nahradit minerální hnojiva. Po fermentaci je zaznamenáno zvýšení hodnoty pH ve fermentačním zbytku na 8 - 8,5. (Kratochvílová a kol., 2009). Digestát je podle nařízení vlády č. 103/2003 Sb. (nitratová směrnice) hnojivem s rychle uvolnitelným dusíkem (poměr C:N nižší než 10) což ve zranitelných oblastech omezuje nebo přímo zakazuje jeho používání v určitém období. Hnojení digestátem je podobné jako při hnojení kejdou (Hezký, 2012).

# 4. Metodika

## 4.1. Pokus 1

Pokus byl prováděn ve VÚZT v Ruzyni v 5 variantách po 4 opakování plus 4 x kontrola v termínech:

- 6.12.2012 - 4.1.2013
- 7.1.2013 - 13.2.2013
- 14.2.2013 – 20.3.2013

**Tabulka 11. Pokus 1 – 6.12.2012 – vstupní údaje**

Materiál	pH	datum	sušina	org.sušina	popeloviny
			%		
BPS Mořina	7,62	6.12.2012	7,14	80,35	19,65
kukuřičná siláž	3,69	6.12.2012	31,19	95,37	4,63
žitná siláž	3,51	6.12.2012	27,84	93,92	6,08

**Tabulka 12. Pokus 1 – 7.1.2013 vstupní údaje**

Materiál	pH	datum	sušina	org.sušina	popeloviny
			%		
BPS Mořina	7,85	7.1.2013	5,95	79,82	20,18
kukuřičná siláž	4,00	7.1.2013	28,82	96,12	3,88
žitná siláž	4,04	7.1.2013	27,92	94,75	5,25

**Tabulka 13. Pokus 1 – 14.2.2013**

Materiál	pH	datum	sušina	org.sušina	popeloviny
			%		
BPS Mořina	7,85	14.2.2013	7,99	81,29	18,71
kukuřičná siláž	3,76	14.2.2013	28,48	96,07	3,93
žitná siláž	3,62	14.2.2013	28,62	95,29	4,71

- BPS – očkovací materiál z vnějšího kruhu fermentoru bioplynové stanice

### Postup pokusu:

1. Odběr kukuřičné a žitné siláže ze zemědělského družstva Mořina, odběr očkovacího materiálu z vnějšího kruhu fermentoru bioplynové stanice

- Žito bylo pěstováno na 3 pozemcích s výměrou 12,41 ha (odrůda Herakles syntetická populace) a 5,5 a 16,76 ha (odrůda Hellvus – hybrid) od firmy VP Agro
  - Předplodinou pro žito byl jarní ječmen, při setí žita 25.9.2011 byl aplikován pod patu DAM 390 v dávce 31 kg N/ha
  - 2.11.2011 byl aplikován herbicid LENTIPUR 500 FW v dávce 1,5 l/ha a LOGRAN 20 WG 0,037 kg/ha
  - 16.3.2012 provedeno regenerační hnojení LAV 200 kg/ha
  - Sklizeň 4.6. – 5.6.2012 při výnosu 19,3 t/ha zelené hmoty
- Kukuřice DKC 5542 s FAO 350 na ploše 111 ha od firmy Monsanto
  - Předplodinou pro kukuřici byla ozimá pšenice, při setí kukuřice 16.4.2012
  - Před setím 200 kg močoviny, 20.5.2012 150 kg LAV
  - 11.5.2012 herbicid ADENGO 0,44 l
  - Sklizeň 20.9.2012 při výnosu 48 t/ha zelené hmoty

2. U odebraných vzorků očkovacího materiálu, kukuřičné a žitné siláže byla stanovena sušina

- Typ sušárny HS 122A CHIRANA
- Typ váhy KERN KB 800-2, maximální váha 810 g, přesnost 0,01 g

3. Zjištění organické sušiny

- Typ pece ELSKO MF5 rok výroby 2008,
- Analytická váha KERN KB ALJ 220 – 4NM s maximální váhou 220 g a přesností 0,1 mg

4. Výpočet hmotností jednotlivých komponent v programu Excel, aby bylo dosaženo odpovídajících poměrů a výsledné sušiny 8 %, poměr mezi silážemi a BPS 60:40

**Tabulka 14. Pokus 1 – typy vzorků**

Varianta	Materiál
1.	40 % BPS + 60 % kukuřičná siláž
2.	40 % BPS + 60 % žitná siláž
3.	40 % BPS + 60 % siláží (70 % kukuřičná + 30 % žitná)
4.	40 % BPS + 60 % siláží (50 % kukuřičná + 50 % žitná)
5.	40 % BPS + 60 % siláží (80 % kukuřičná + 20 % žitná)
6.	100 % BPS - kontrola

5. Navážení příslušné váhy materiálů dle tabulek do celkové hmotnosti 1 kg vzorku,

- váhy KERN KB 8000-1, s maximální váhou 8 100 g a přesností 0,1 g

6. Změření pH směsi, kukuřičné a žitné siláže, BPS

- přístroj přenosný pH-konduktometr pH / Cond 340i od firmy WTW

7. Přemístění mikrofermentoru do vodní lázně, vytápěna na 40 - 42 °C

- Přístroj: TERMOSTAT C10 od firmy FISHER SCIENTIFIC

8. Měření množství a analyzování bioplynu (kvalita) -> musí být nejméně 500 ml plynu -> měří se CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>

- Přístroj: ASEKO AIR LF – analyzátor plynů

9. Průběžný zápis do papírových tabulek a poté zápis do programu Excel

10. Občas opatrné míchání -> nebezpečí ucpání hadiček

11. Po skončení pokusu změření pH a hmotnost mikrofermentoru, změření sušiny + organické sušiny

12. Zhotovení požadovaných tabulek, grafů v programu Excel



## 4.2. Pokus 2

Pokus byl prováděn na VÚZT v Ruzyni 2.12.-16.1.2011 v sedmi variantách po 2 opakování.

Tabulka 15. Pokus 2 – 2.12.2011 - vstupní údaje

Materiál	pH	datum	sušina	org.sušina	popeloviny
			%		
BPS	8,01	2.12.2011	4,68	62,85	37,15
kukuřičná siláž	4,03	2.12.2011	29,90	95,85	4,15
žitná siláž	4,08	2.12.2011	27,84	95,32	4,68

- BPS – očkovací materiál z vnějšího kruhu fermentoru bioplynové stanice

### Postup pokusu:

#### 1. Odběr kukuřičné a žitné siláže z Německa

- žito odrůda Helltop
- kukuřice odrůda PR39F58
- očkovací materiál z bioplynové stanice Thomas Meyer zu Hartlage – Neustadt Region Hannover

#### 2. U odebraných vzorků BPS, kukuřičné a žitné siláže byla stanovena sušina

- Typ sušárny HS 122A CHIRANA
- Typ váhy KERN KB 800-2, maximální váha 810 g, přesnost 0,01 g

#### 3. Zjištění organické sušiny

- Typ pece ELSKO MF5 rok výroby 2008,
- Analytická váha KERN KB ALJ 220 – 4NM s maximální váhou 220 g a přesností 0,1 mg

#### 4. Výpočet hmotností jednotlivých komponent v programu Excel, aby bylo dosaženo odpovídajících poměrů a výsledné sušiny 8 %, poměr mezi silážemi a BPS 70:30

**Tabulka 16. Pokus 2 – typy vzorků**

Varianta	Materiál
1.	30 % BPS + 70 % kukuřičná siláž
2.	30 % BPS + 70 % žitná siláž
3.	30 % BPS + 70 % siláže (90 % kukuřičná + 10 % žitná)
4.	30 % BPS + 70 % siláže (80 % kukuřičná + 20 % žitná)
5.	30 % BPS + 70 % siláže (70 % kukuřičná + 30 % žitná)
6.	30 % BPS + 70 % siláže (40 % kukuřičná + 60 % žitná)
7.	100 % BPS - kontrola

5. Navážení příslušné váhy materiálů dle tabulek do celkové hmotnosti 1 kg vzorku,
  - váhy KERN KB 8000-1, s maximální váhou 8 100 g a přesností 0,1 g
6. Změření pH směsi, kukuřičné a žitné siláže, očkovacího materiálu
  - přístroj přenosný pH - konduktometr pH / Cond 340i od firmy WTW
7. Přemístění mikrofermentorů do vodní lázně, vytápěna na 40 - 42 °C
  - Přístroj: TERMOSTAT C10 od firmy FISHER SCIENTIFIC
8. Měření množství a analyzování bioplynu (kvalita) -> musí být nejméně 500 ml plynu -> měří se CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>
  - Přístroj: ASEKO AIR LF – analyzátor plynů
9. Průběžný zápis do papírových tabulek a poté zápis do programu Excel
10. Občas opatrné míchání -> nebezpečí ucpání hadiček!!!!
11. Po skončení pokusu změření pH a hmotnost mikrofermentorů, změření sušiny + organické sušiny
12. Zhotovení požadovaných tabulek, grafů v programu Excel

### 4.3. Pokus 3

Pokus byl prováděn na KLASTR Bioplyn v Červeném Újezdu v termínu 27.1.2015 – 16.3. 2015-03-27 v 5 variantách po 5 opakování.

Tabulka 17. Pokus 3 – 27.1.2015 – vstupní údaje

Materiál	datum	sušina	org.sušina	N-NH <sub>4</sub>
		%		g/l
BPS Krásná hora	27.1.2015	6,49	73,13	1,02
kukuřičná siláž	27.1.2015	35,38	95,85	/
žitná siláž	27.1.2015	37,05	95,96	/

1. Odběr kukuřičné a žitné siláže ze zemědělského družstva Lukrena, odběr očkovacího materiálu z vnějšího kruhu fermentoru bioplynové stanice Krásná Hora nad Vltavou

- Žito bylo pěstováno na 13 pozemcích s výměrou 100,37 ha (odrůda Hellvus - hybrid) a 2 pozemcích o výměře 26,2 ha (odrůda Herakles – syntetická populace) od firmy VP Agro
  - Předplodinou pro žito byla z polovina ozimá řepka a z druhé poloviny ozimá pšenice
  - Výsevek činil 102 kg/ha a doba setí byla 23.9.2013
  - 15.10.2013 aplikován herbicid Maraton 3,8 l + Glean 7 g
  - 26.2.2013 provedeno regenerační hnojení LAD 200 kg/ha
  - 5.4.2013 aplikováno Cu 0,2 l + Mn 0,2 l + B 0,2 l + hořká sůl 2 kg
  - Sklizeň 25.6.2014 při průměrném výnosu zelené hmoty 18,77 t/ha
- Kukuřice směs odrůd s FAO 230 – 290 od firem RAGT, Dekalb, KWS na výměře 549,48 ha s datem setí 5.4.2014 – 11.4.2014
  - Předplodinou pro kukuřici byla většinou ozimá pšenice, na 3 pozemcích kukuřice
  - Na podzim aplikace 32 t/ha digestátu a 3 q kamexu
  - Před setím aplikováno 2 q močoviny

- Pod patu aplikován Duofertil NP 34 v dávce 90 kg/ha
- Zhruba 10 dní po zasetí aplikováno 195 l DAM společně s herbicidem Adengo 0,44 l nebo Dual Gold 1,2 l + 1,5 l Click
- Sklizeň 10.9.2014 – 20.10.2014 s průměrným výnosem 47,8 t/ha zelené hmoty

**Tabulka 18. Pokus 3 – typy vzorků**

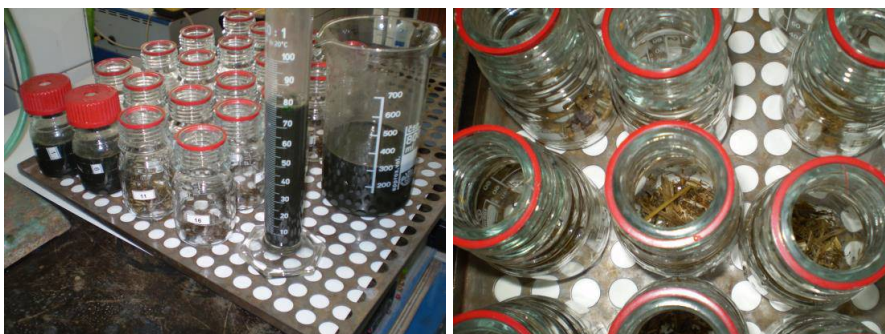
Varianta	Materiál
1.	Inokulum
2.	100 % žitná siláž
3.	100 % kukuřičná siláž
4.	50 % kukuřičná + 50 % žitná siláž
5.	70 % kukuřičná + 30 % žitná siláž

## **Předpis pro provádění laboratorních jednorázových testů produkce bioplynu**

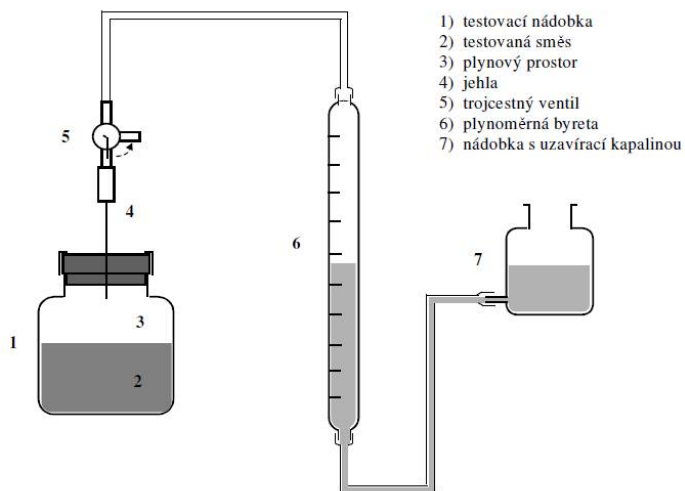
### **Princip měření:**

Jednorázové testy jsou prováděny dle metodiky VŠCHT (Dohányos, Záborská), kdy jsou testované materiály nadávkovány spolu s inokulem do sérových lahviček a plynotěsně uzavřeny. Znamé množství materiálu (cca 2,5 g) je jednorázově nadávkováno spolu s inokulem (cca 30 g) do testovacích hermeticky uzavřených lahviček objemu cca 120 ml a doplněno do váhy zhruba 80g. Přípravu experimentu je možné vidět na obrázku 5. Následně je prováděna kultivace v termoboxu při 40 °C po dobu, kdy je vykazována produkce bioplynu. Produkce bioplynu je zjišťována pravidelným měřením (cca 1 x denně) na plynoměrné byretě a je zaznamenávána. Schéma aparatury pro měření bioplynu je znázorněno na obrázku 6 a vlastní přístroj na obrázku 7.

**Obrázek 5. Schéma experimentu**



**Obrázek 6. Schéma měření produkce bioplynu plynoměrnou byretou**



**Obrázek 7. Plynoměrná byreta**



Výsledkem je křivka produkce bioplynu s možností odečtu celkové produkce, potřebné doby pro průběh rozkladu a dalších parametrů (např. maximální rychlost produkce aj.). Z důvodu vyšší reprodukovatelnosti jsou testy realizovány v několika paralelních stejně připravených lahvích (v tomto případě 5 x). Kromě testu produkce bioplynu se substráty je zároveň provedena kultivace samotného inokula za stejných podmínek, která je následně odečítána od produkce v testovacích lahvích se substráty. Tak je získána čistá substrátová produkce bioplynu.

### **Popis aparatury:**

Aparatura se skládá z kultivačního boxu se stálou teplotou 40°C. V tomto boxu je umístěn jednak prostor pro kultivaci vzorku, dále prostor pro provádění měření a případně prostor pro uskladnění zásobní biomasy. Vlastní testy jsou prováděny v hermeticky uzavíratelných nádobkách SIMAX 120 ml se šroubovými uzávěry. Do uzávěru je vkládáno gumové těsnící septum zajišťující plynotěsnost, přes které je zároveň prováděno měření produkce (případně kvality) bioplynu. Měření je prováděno na plynoměrné byretě (obr. 5). Ta je naplněna roztokem neabsorbující složky bioplynu – především CO<sub>2</sub>, který se ve vodě velmi snadno rozpouští, což ovlivňuje měření (je používán roztok NaCl titrovaný na methylooranž).

### **Metodika nasazení testu:**

Základem provedení úspěšného testu je jeho efektivní nasazení. To musí být provedeno tak, aby nedošlo k přetížení inokula (základní biomasa provádějící rozklad substrátu), inhibici inokula, přílišné produkci bioplynu, nebo nedostatečné produkci bioplynu.

Prvním krokem při přípravě testu je zajištění kvalitního inokula – anaerobní biomasy. Inokulum by mělo být dostatečně koncentrované, adaptované na teplotu plánovaného testu (mezofilní) a nemělo by vykazovat vysokou pozadřovou produkci bioplynu. Inokulum bylo zajištěno z BPS Krásná hora nad Vltavou. U BPS je ovšem problémem obvykle pozadřová produkce, minimálně je nutno zbavit inokulum hrubých heterogenních částic (kusu rostlin apod.) např. cezením.

Po dovezení je vhodné nechat inokulum z BPS nechat odsadit a řídký vrch odlít. Následně je vhodné nechat inokulum cca 2 – 3 dny v termoboxu stát pro snížení pozadřové produkce. Stání realizovat v kanystru s úzkým hrdlem pro omezení kontaminace inokula vzdušným kyslíkem. Kanystr není možné zcela uzavřít, vznikající bioplyn by mohl způsobit při jeho uzavření přetlakování kanystru a jeho prasknutí. Pokud bude inokulum skladováno déle je nutno zajistit jeho „krmení“ např. cukrem.

Při vlastním nasazení je nutno respektovat především zatížení inokula a to buďto vnosem CHSK nebo organické sušiny a dále teoretickou produkci bioplynu z daného substrátu. Před započítáním testu tedy provedeme základní analytická stanovení:

- Inokulum: sušina, org. sušina (předpokládáme, že neobsahuje inhibující látky)
- Substrát: sušina, org. sušina, celk. dusík, CHSK (pokud je možno realizovat)

Jako optimální zatížení je obvykle doporučováno 0,5 g CHSK/g biomasy (org. sušina inokula). V případě, že není k dispozici stanovení CHSK, nahradíme ve vzorci CHSK org. sušinou. Tj. pro příklad:

Test s methanolem:

CHSK  $\text{CH}_3\text{OH}$  = 1,498 g/g

inokulum = obsahuje cca 3% OS

Test navrhujeme tak, aby celková produkce bioplynu substrátu nebyla příliš vysoká – tj. aby nedošlo k explozi nádoby. Budeme tedy předpokládat očekávanou produkci bioplynu 150 ml (to je relativně málo, ale přihlížíme k tomu, že produkce bioplynu bude rychlá, jelikož se jedná o snadno rozložitelný substrát). Za obecně platného předpokladu, že 1 g CHSK poskytne cca 375 ml  $\text{CH}_4$  resp. 507 ml bioplynu (65% methanu) musím tedy dávkovat cca 0,49 g CHSK. Pro zatížení biomasy 0,5 tak je nutno dávkovat 0,98 g biomasy. Při koncentraci biomasy v inokulu 3% je tak nutno dávkovat 32 ml inokula. Nadávkovanou směs dolijeme vodou na 80 ml. Se stejným množstvím inokula je nutno nasadit tzv. slepý pokus. Nasazujeme stejným způsobem, ovšem bez testovaného substrátu. Testovací nádoby uzavřeme, promícháme a je vhodné profoukat čistým dusíkem pro odstranění kyslíku z plynového prostoru (není podmínkou), po 2 hod od umístění v termoboxu provedeme odpuštění plynu a test je odstartován  $T=0$ .

**Tabulka 19. Pokus 3 – typy vzorků**

Vzorek	inokulum	vzorek	Kukuřice (poměr/navážka v g) celkem	Žito (poměr/navážka v g)
Inokulum	g	g	g	0%
1-1	30,0569		80,7767	
1-2	30,0763		82,1098	
1-3	30,0212		80,4924	
1-4	30,0347		80,1518	
1-5	30,0111		80,0381	
Žito			0%	100%
2-1	30,0499	2,5001	80,2619	
2-2	30,0503	2,5002	80,4611	
2-3	30,0224	2,5030	80,7816	
2-4	30,0664	2,5004	80,2284	
2-5	30,0149	2,5014	80,4069	
Kukuřice			100%	0%
3-1	30,0658	2,5028	80,2253	
3-2	30,0021	2,5074	80,2841	
3-3	30,0737	2,5034	80,1581	
3-4	30,0130	2,4991	80,7089	
3-5	30,0019	2,4991	80,1482	
Kukuřice / žito 50:50			50%	50%
4-1	30,0303	2,5008	81,2758	1,2504
4-2	30,0744	2,5014	80,2639	1,2500
4-3	30,0523	2,4987	80,5164	1,2494
4-4	30,0739	2,4986	80,3188	1,2482
4-5	30,0741	2,4964	80,3088	1,2481
Kukuřice / žito 70:30				
5-1	30,0327	2,4978	80,3113	1,7490
5-2	30,0177	2,5040	80,4487	1,7526
5-3	30,0158	2,4999	80,7745	1,7511
5-4	30,0099	2,4986	80,3695	1,7502
5-5	30,0108	2,4972	80,4159	1,7490



Měření je prováděno na plynoměrné byretě. V počáteční fázi experimentu (obvykle 1 týden) 2 x denně, u materiálu s vysokou či rychlou produkcí i 3 x denně. Frekvenci měření je možno postupně snižovat. Min. délka testu je cca 20 dní.

Postup měření – na vedení přesuneme trojcestný kohout tak, aby plyn směřoval do byrety a výpustní otvor byl uzavřen. Propíchnu septum a počkám na přechod plynu do byrety. Následně beru nádobku spojenou s byretou (dělicí nálevku) ze stojanu a ručně vyrovnám hladinu v nádobce s hladinou v byretě – počkám na ustálení a zaznamenám hodnotu. Odložím dělicí nálevku do stojanu, trojcestným kohoutem vypustím plyn a pokračuji další testovací nádobkou.

Analýza bioplynu: před objemovým měřením je vhodné v ustálené fázi testu (cca po týdnu od startu) odebrat vzorky bioplynu (odběr provádíme přímo do kvalitní chromatografické stříkačky), kterou uzavřeme septem. Přímou analyzujeme. Z těchto testů není možno odebírat větší množství vzorku bioplynu.

#### **Ukončení testu:**

Po poklesu produkce bioplynu, případně po 20 – 40 dnech, kdy je stejná produkce bioplynu z nádobek s inokulem i s nádobek se vzorkem, lze test ukončit. Z ukončených testů je možné provést rozboru kapalné fáze.

Analýza plynu probíhala na plynovém chromatografu DANI GC MASTER. Samotné měření probíhá zhruba 8 minut + následné chlazení = celková doba zhruba 15 min. Plynový chromatograf probíhá na principu, že vzorek prochází a každá složka plynu se zachycuje různě. CH<sub>4</sub> se zachycuje kolem 4. minuty, kolem 8. minuty se zachycuje CO<sub>2</sub>. Vážení vzorků probíhalo na typu KERN ABJ 320-40 s d=0,1mg.

Sušení vzorku probíhalo na sušárně POL-EKO APARATURA a stanovení organické sušiny probíhalo na přístroji LAC L03/12.

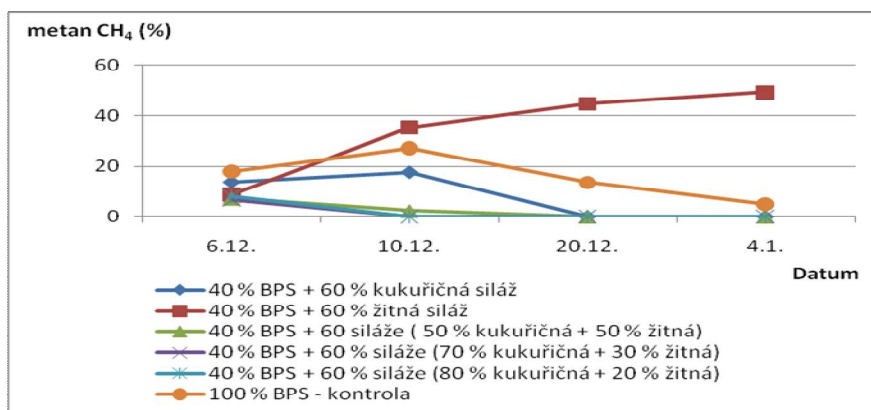
#### **4.4. Statistické metody**

Pro analýzu dat byla použita jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA). Průkaznost mezi jednotlivými variantami byla následně zjišťována pomocí Scheffeho testu. Pro statistické analýzy byla zvolena hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ .

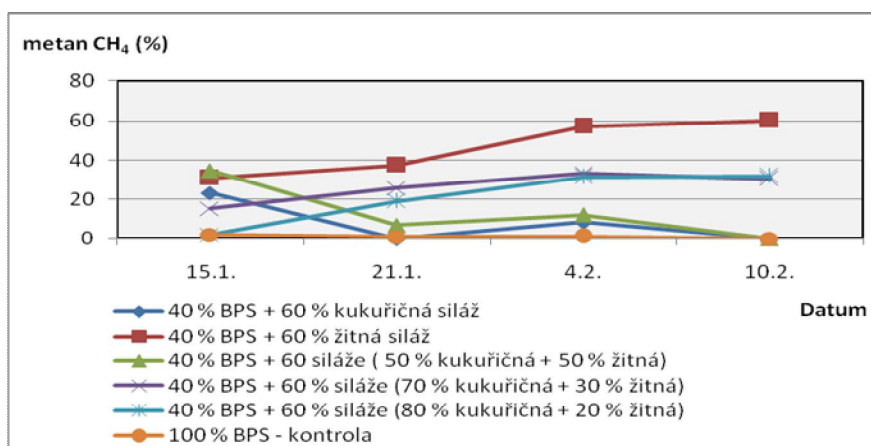
# 5. Výsledky

## 5.1. Pokus 1

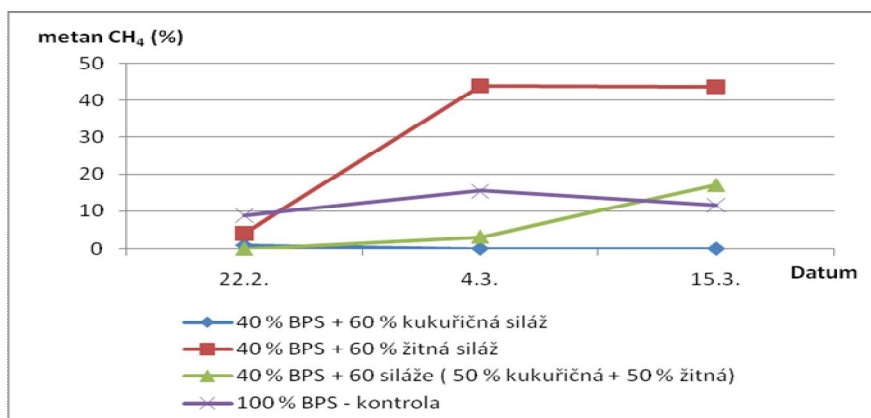
Graf 6. Množství metanu v bioplynu pokus 6.12.2012 – 4.1.2013



Graf 7. Množství metanu v bioplynu pokus 7.1. – 13.2.2013



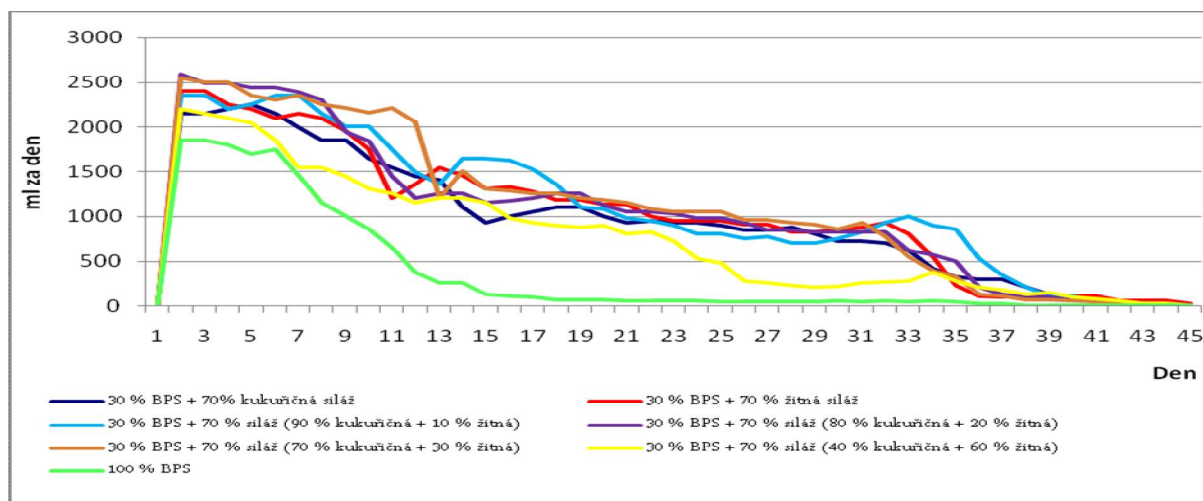
Graf 8. Množství metanu v bioplynu pokus 14.2. – 20.3.2013



Množství metanu v bioplynu je velmi nízké, jak je možno vidět na grafu 6 – 8. Substrát 40 % BPS + 60 % žitná siláž obsahoval jako jediný slušné množství metanu. Ostatní varianty ve všech třech termínech tohoto pokusu nedosahovaly ani 30 % obsahu metanu a proto byl pokus ukončen. Ve variantě 40 % BPS + 60 % žitná siláž byl obsah metanu v bioplynu narůstající a to ve všech třech termínech pokusu. U varianty založeném 14.2. – 20.3.2013 40 % BPS + 60 % kukuřičné siláže nebyl metan vůbec zjištěn u varianty. Velmi nízký obsah metanu má i kontrolní varianta 100 % BPS. Z pokusu lze usoudit, že pravděpodobným důvodem selhání pokusu byl nekvalitní inokulant a jediný substrát, který si poradil s nepříznivými podmínkami a poskytoval požadovaný obsah metanu, byl 40 % BPS + 60 % žitné siláže.

## 5.2. Pokus 2

Graf 9. Vývoj produkce bioplynu



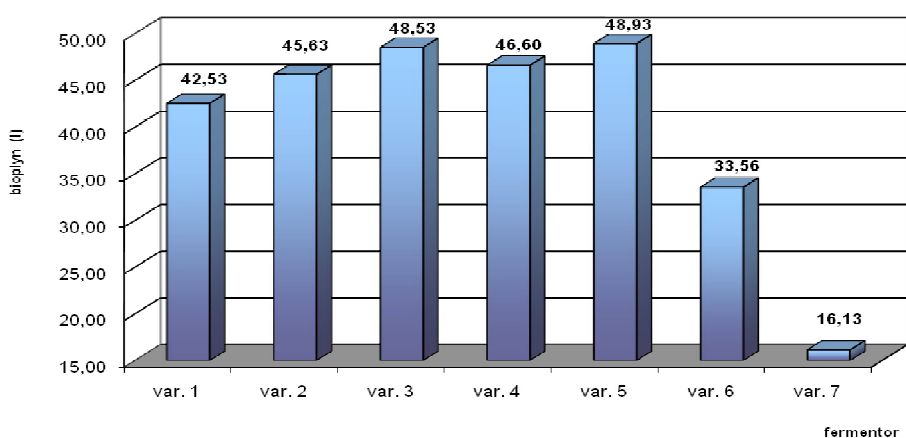
Z grafu 9 je vidět, jak probíhala fermentace u kontroly (100 % BPS), kdy po úvodním týdnu nastal prudký pokles výtěžnosti bioplynu a po 14 dnech pokusu byla produkce už zanedbatelná. To lze přičíst vyčerpání lehce rozložitelných organických látek. Největší výtěžnost za den nejčastěji poskytovaly varianty 70 % kukuřičné + 30 % žitné siláže a varianta 90 % kukuřičné + 10 % žitné siláže. Varianta 30 % BPS + 70 % kukuřičné siláže od počátku pokusu poskytovala nejméně plynu.

Po úvodním týdnu, kdy produkce dosahovala u všech variant kromě kontroly až 2 500 ml za den, nastal pokles. Od 14. dne zhruba na 1 500 ml za den. Poté následoval pozvolnější pokles až zhruba do 33. dne, kdy mimo variantu 10 % žitné a 90 % kukuřičné siláže všechny

spadly pod 500 ml bioplynu za den. U této varianty je zajímavé, že po 29. dnu pokusu mírně produkce bioplynu narostla.

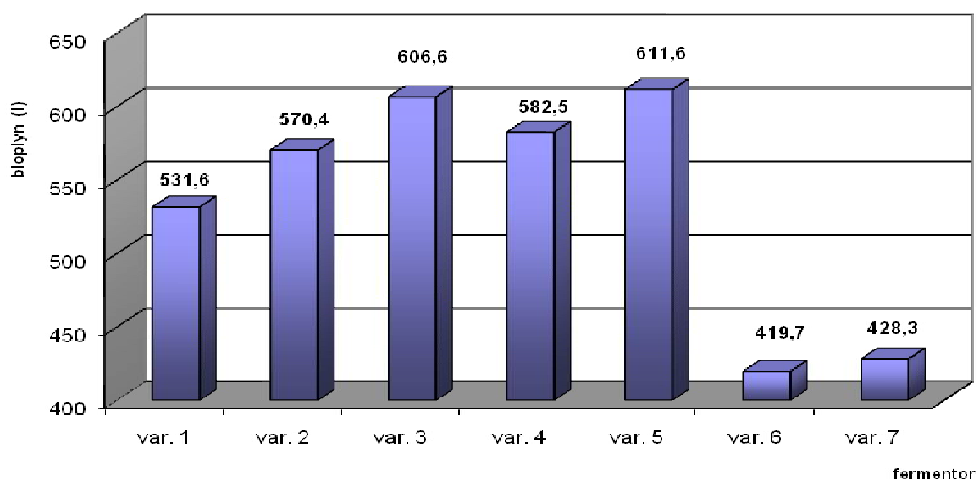
Po 37. dnu fermentace už byly všechny varianty prakticky totožné až do konce pokusu. Nejnižší produkci bioplynu si po celou dobu, když pomineme kontrolu, až na výjimky udržovala varianta 30 % BPS a 70 % siláže (40 % kukuřičná + 60 % žitná). Kontrola 100 % BPS od 14. dne poskytovala jenom malé množství bioplynu z důvodu vyčerpání rozložitelných organických látek.

**Graf 10. Produkce bioplynu ve fermentorech (l)**



Z grafu 10 je zajímavé zjištění pozitivního vlivu žita na tvorbu bioplynu. Lépe dopadla varianta 2 (30 % BPS a 70 % žitná siláž) než varianta 1 (30 % BPS a 70 % kukuřičná siláž). Velký podíl žita je už škodlivý, což je vidět na variantě 6 (30 % BPS a 40 % kukuřičná + 60 % žitná siláž). Tvorba bioplynu u varianty 7 (100 % BPS) je zanedbatelná, důvodem je nedostatek lehce rozložitelných organických látek .

**Graf 11. Produkce bioplynu z 1 kg sušiny (I)**

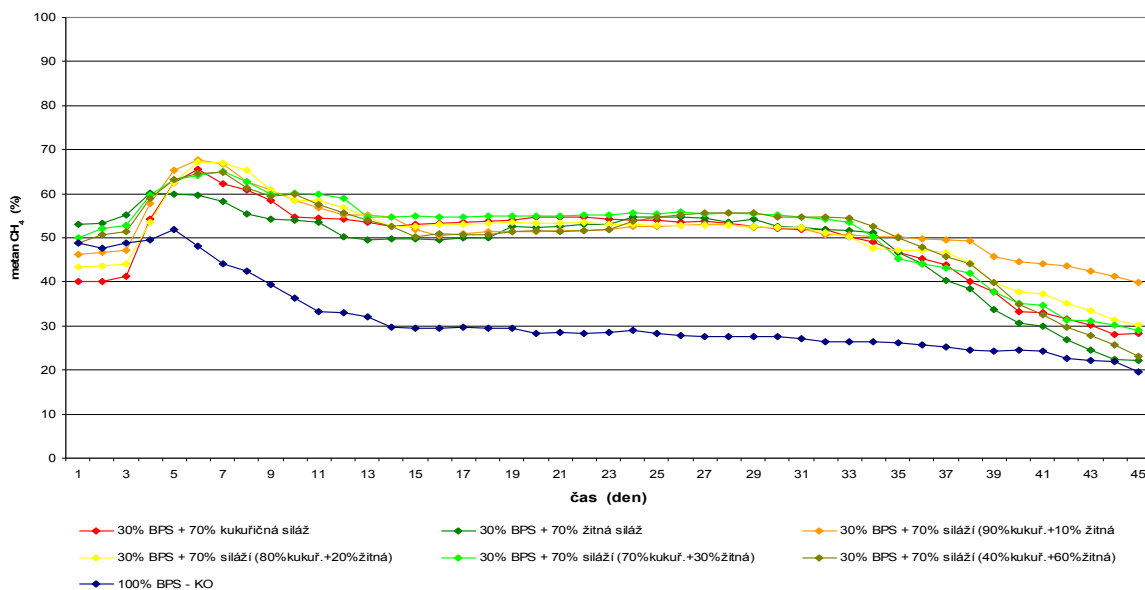


**Tabulka 20. Produkce bioplynu z 1 kg sušiny**

Č. buňky	Scheffeho test; proměnná Množství bioplynu l/kg (Tabulka1) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 64,454, sv = 7,0000						
	Varianta	1	2	3	4	5	6
		531,55	570,35	606,55	582,50	611,60	419,70
1	1		0,049192	0,001226	0,012114	0,000813	0,000092
2	2	0,049192		0,067689	0,869402	0,036609	0,000012
3	3	0,001226	0,067689		0,303693	0,998004	0,000003
4	4	0,012114	0,869402	0,303693		0,164297	0,000007
5	5	0,000813	0,036609	0,998004	0,164297		0,000002
6	6	0,000092	0,000012	0,000003	0,000007	0,000002	
7	7	0,000156	0,000018	0,000004	0,000011	0,000003	0,970255

Z grafu 11 a tabulky 20 je vidět pozitivní vliv žita na tvorbu bioplynu až do úrovně 30 % žitné siláže a 70 % kukuřičné. Varianta 6 (60 % žitné a 40 % kukuřičné) naopak dopadla nejhůře a rozdíl je statisticky významný se všemi variantami kromě kontroly. Nejlepší varianta 5 (70 % kukuřičné a 30 % žitné siláže) vyšla proti dnes nejčastěji v praxi používané variantě 1 (100 % kukuřičné siláže) lépe o 80 l bioplynu z 1 kg sušiny a rozdíl je statisticky průkazný. Rozdíl činí 15 %. Rozdíl mezi variantou 5 a variantami 3 a 4 není statisticky průkazný.

**Graf 12. Množství metanu v bioplynu (%)**

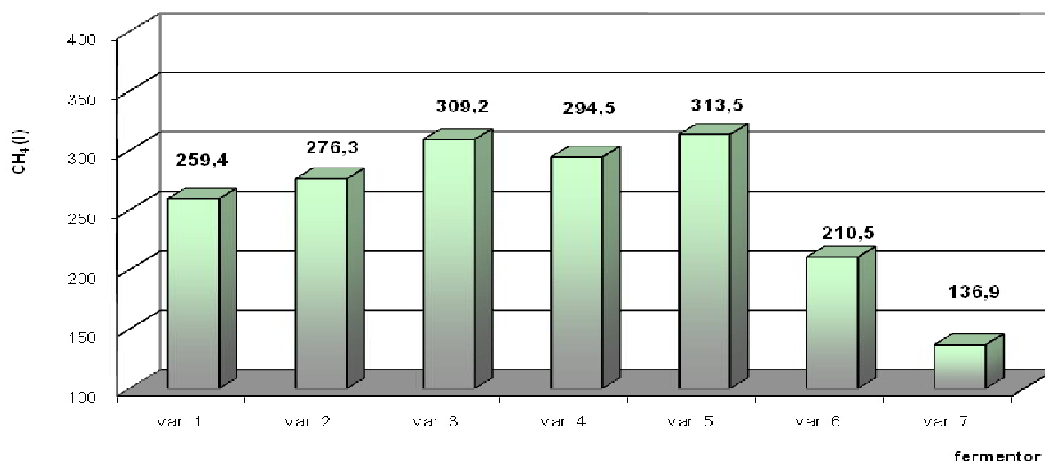


Z grafu 13 je vidět, že kontrola si ještě po týdnu pokusu udržovala poměrně slušné procento metanu. Ostatní varianty až na variantu 30 % BPS + 70 % žitná siláž v prvním týdnu překročily 60 % obsahu metanu v bioplynu.

Po vyčerpání organické hmoty začal obsah metanu u kontroly pomalu klesat až na konečnou úroveň 20 %. Po úvodním týdnu pokusu, kdy obsah metanu u ostatních variant stoupal na 60 - 65 % nastal pokles a ustálení obsahu metanu v rozmezí 50 - 55 % až do 34. dne.

34. dne nastal strmý pokles obsahu metanu. Úroveň obsahu metanu dosahovala v posledních dnech pokusu téměř úroveň kontroly z důvodu vyčerpání lehce rozložitelných organických látek. Hodnota u variant byla v rozmezí 23 - 30 %. Výjimkou byla varianta 30 % BPS + 70 % siláže (90 % kukuřičná + 10 % žitná), která i po 45 dnech pokusu dosahovala 40 % obsahu metanu v bioplynu. Produkce v tomto období už ale dosahovala skoro nulové hodnoty.

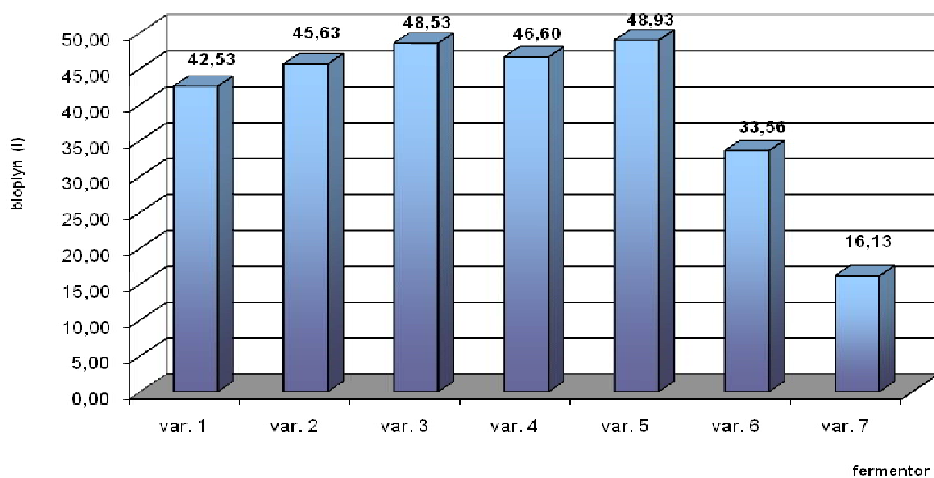
**Graf 13. Produkce metanu z 1 kg sušiny (I)**



Č. buňky	Scheffeho test; proměnná . Produkce metanu z 1 kg sušiny (I) (Tabulka1) Pravděpodobnosti pro post-hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 45,184, sv = 7,0000						
	Varianta	1 259,45	2 276,30	3 309,25	4 294,50	5 313,55	6 210,55
1	1		0,469275	0,005012	0,034035	0,003063	0,005576
2	2	0,469275		0,045989	0,395114	0,025004	0,000918
3	3	0,005012	0,045989		0,597757	0,997811	0,000065
4	4	0,034035	0,395114	0,597757		0,352732	0,000190
5	5	0,003063	0,025004	0,997811	0,352732		0,000049
6	6	0,005576	0,000918	0,000065	0,000190	0,000049	
7	7	0,000015	0,000006	0,000001	0,000003	0,000001	0,000447

Nejlépe na produkci metanu z 1 kg sušiny dopadla varianta 3 (10 % žitné + 90 % kukuřičné siláže) a varianta 5 (30 % žitné + 70 % kukuřičné siláže). Mezi těmito variantami byl rozdíl pouhé 1,4 %. Mezi variantami 3,4,5 nejsou statisticky průkazné rozdíly. V porovnání s variantou 1 (100 % kukuřičná siláž) dopadla varianta 3 lépe o 19,2 % a varianta 5 lépe o 20,9 %. Mezi variantami je statisticky průkazný rozdíl. Ten není v množství metanu mezi variantou 1 (kukuřičná siláž) a 2 (žitná siláž). Rozdíl mezi kontrolou (varianta 7) a ostatními variantami je statisticky průkazný. Ukazuje se, že přidání žitné siláže ke kukuřičné až do obsahu 30 % zvyšuje výtěžnost metanu z kg sušiny. Vyšší obsah žita až 60 % k 40 % kukuřičné siláže už působí negativně.

**Graf 14. Průměrný obsah metanu v bioplynu (%)**



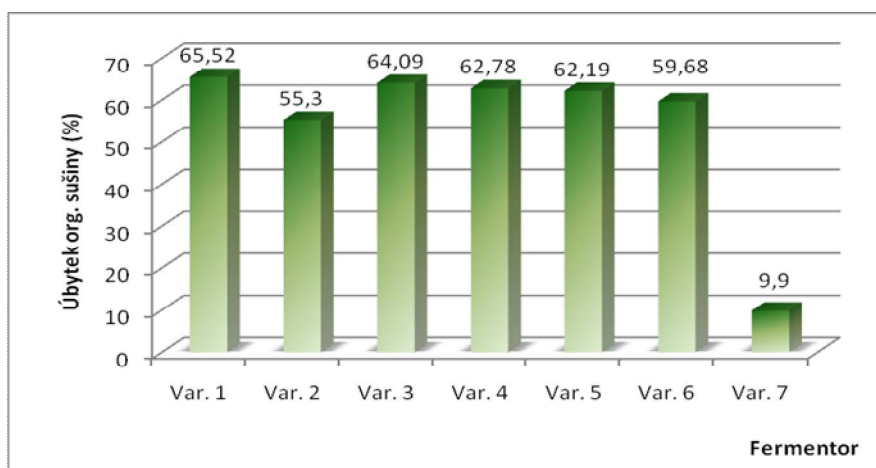
Nejmenší obsah metanu v bioplynu měla dle očekávání kontrolní varianta 7 (100 % BPS). Velmi nízký obsah metanu obsahovala varianta 6 (40 % kukuřičné + 60 % žitné siláže). Největší obsah metanu byl naměřen u varianty 5 (70 % kukuřičné + 30 % žitné siláže). Rozdíl mezi variantami s kukuřicí a žitem a samotnými kukuřičnými a žitnými silážemi byl v případě kukuřičné zhruba 6 % respektive 3 % u žitné siláže ve prospěch směsi.

**Tabulka 21. pH substrátu na vstupu a na výstupu**

Varianta	pH na vstupu	pH na výstupu
1.	6,97	8,36
2.	6,82	8,36
3.	7,06	8,42
4.	6,89	8,22
5.	6,86	8,55
6.	6,81	8,55
7.	8,09	8,05

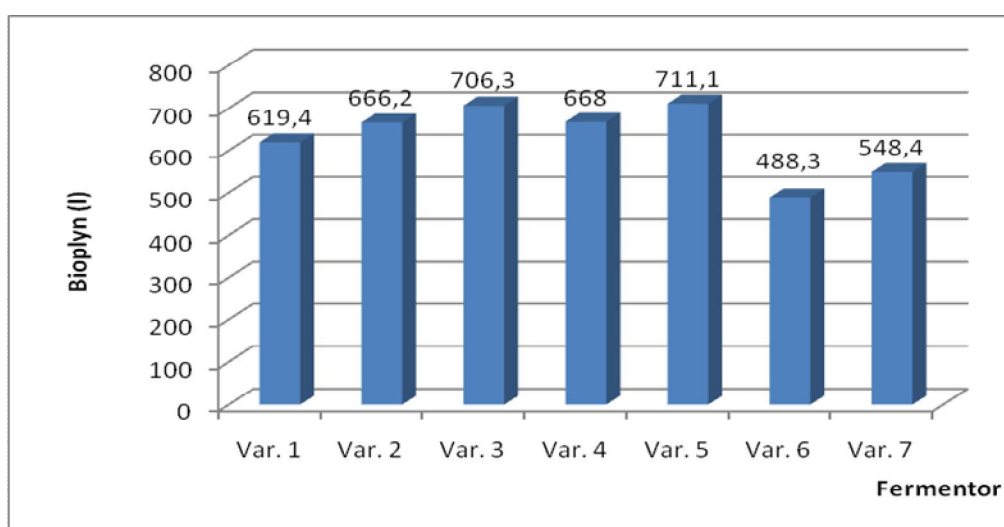


**Graf 15. Odbourání organické sušiny (%)**



Největší rozklad byl u varianty 1 – 30 % BPS a 100 % kukuřičné siláže. Nejmenší rozklad, když pomíneme variantu 7 (100 % BPS), byl u variant, kde mělo větší zastoupení žito. Šlo o variantu 2, kde ze siláže mělo žito zastoupení 100 %, a o variantu 6, kde bylo zastoupení 60 % žitné a 40 % kukuřičné siláže. Nízký rozklad organické sušiny je zapříčiněn rozkladem nejlépe rozložitelných organických látek před pokusem ve fermentoru. Vyšší rozklad organické sušiny ale nebyl u varianty 1 pozitivní. Tato varianta totiž poskytovala menší výtěžnost metanu a produkovala spíš oxid uhličitý, který pro nás není významný. Rozklad organické sušiny znamená, kolik procent z teoreticky rozložitelných látek se dokáže během fermentace rozložit.

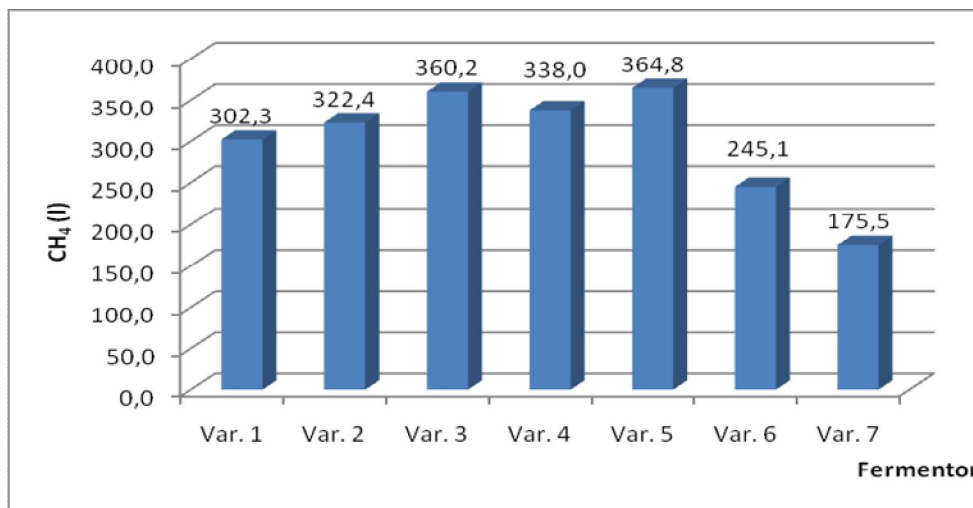
**Graf 16. Produkce bioplynu z 1 kg organické sušiny (l)**



U produkci bioplynu z organické sušiny nejlépe vychází varianty 3 (30 % BPS + 70 % siláže (90 % kukuřičná + 10 % žitná) a 4. varianta (30 % BPS + 70 % siláže (70 % kukuřičná

+ 30 % žitná). Nejhůře z variant dopadla varianta 6 (30 % BPS + 70 % siláže (40 % kukuřičná + 60 % žitná). Tato varianta dopadla o 60,1 l bioplynu hůře než kontrola – 100 % BPS.

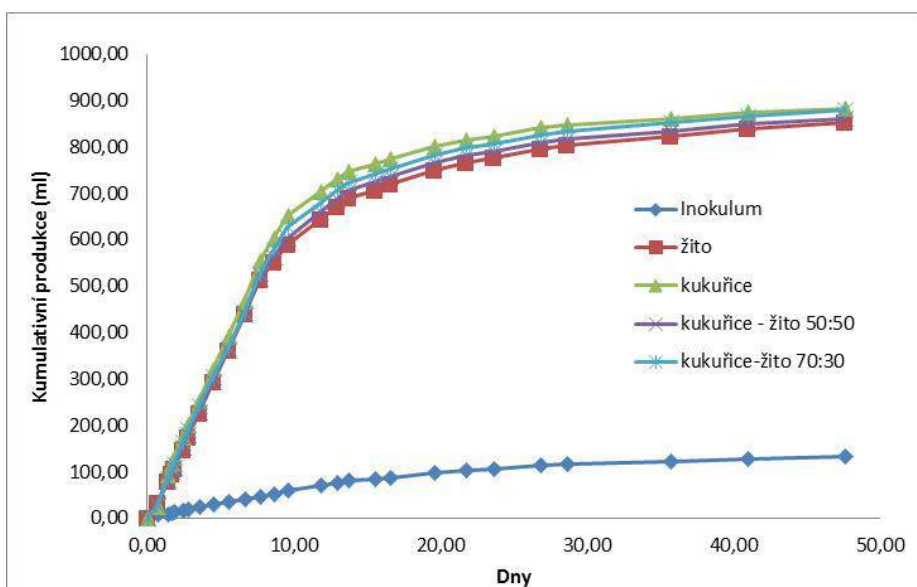
**Graf 17. Produkce metanu z 1 kg organické sušiny (l)**



Pořadí variant v produkci metanu z organické sušiny je stejné jako u grafu 17. Výjimku tvoří varianta 7 (100 % BPS), která díky menšímu obsahu metanu má nejmenší výtěžnost metanu z organické sušiny.

### 5.3. Pokus 3

**Graf 18. Průběh produkce bioplynu – kumulovaná produkce**



Průběh křivky produkce bioplynu lze označit za typický, lze si všimnout relativně nízké zjištěné produkce slepého pokusu – tedy vzorku samotného inokula, což pozitivně

ovlivňuje kvalitu testu. Následující graf znázorňuje substrátovou produkci bioplynu, kde je jednak odečten vliv inokula a je proveden přepočet na přidanou sušinu a produkce bioplynu je přepočtena na normální podmínky (Nm<sup>3</sup> – 0°C, 101,325 kPa).

**Tabulka 22. Koncentrace metanu**

	Zjištěná koncentrace metanu (%)				
	4.2.2015	11.2.2015	18.2.2015	25.2.2015	9.3.2015
Inokulum	64,37	65,76	67,94	68,22	71,35
Žito	66,97	56,30	60,06	62,07	64,71
Kukuřice	70,14	60,60	63,06	64,63	66,60
Kukuřice – žito 50:50	69,54	58,05	60,85	61,80	64,43
Kukuřice – žito 70:30	68,50	58,24	60,91	61,60	65,39

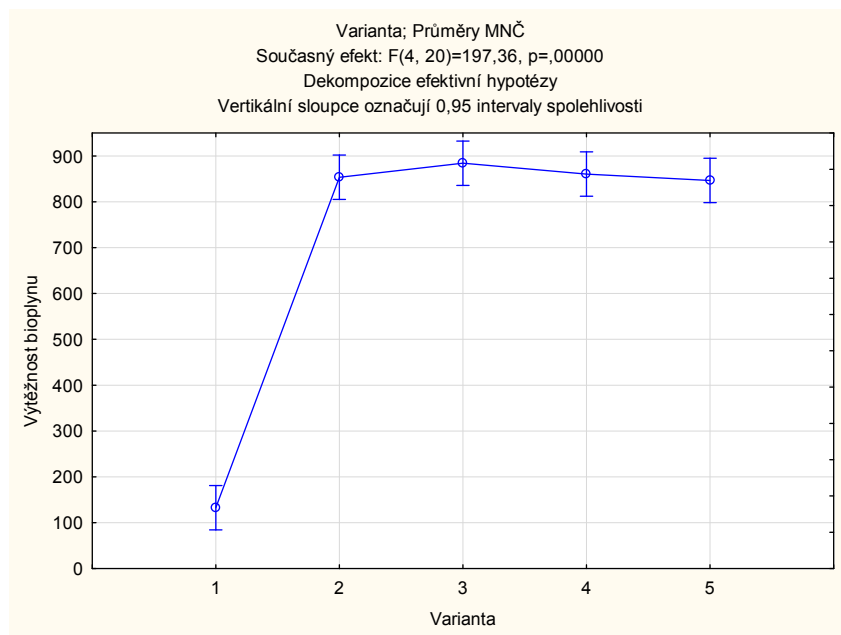
Byly zjištěny vysoké koncentrace metanu v bioplynu, ovšem to je ovlivněno provedením analýz až 7. den experimentu, kdy docházelo ke zpracování meziproductů anaerobního rozkladu (mastných kyselin), které koncentraci metanu v bioplynu zvyšují. Z celkové zjištěné produkce bioplynu byla ovšem většina vyprodukována před provedením první analýzy. Lze tedy očekávat běžnou kvalitu bioplynu v průměru cca 53 – 55 %.

**Tabulka 23. Výtěžnost bioplynu**

	Výtěžnost bioplynu	Výtěžnost metanu
	Nm <sup>3</sup> /tOS	Nm <sup>3</sup> /tOS
Žito	679,3	346,5
Kukuřice	740,4	399,8
Kukuřice – žito 50:50	701,9	364,9
Kukuřice – žito 70:30	727,1	385,4

Z těchto výsledků lze usuzovat, že nejvyšší substrátová produkce bioplynu byla zjištěna u materiálu kukuřičná siláž a to o cca 10% vyšší než v případě žitné siláže. U

analyzovaných směsí závisela substrátová produkce bioplynu a její vztah k výchozím surovinám na jejich poměru. U poměru 50 : 50 bylo dosaženo substrátové produkce bioplynu 701 Nm<sup>3</sup>/tOS, což prakticky přesně odpovídá součtu substrátových produkcí dávkovaných materiálů (708 Nm<sup>3</sup>/tOS). V případě poměru 70 : 30 pak bylo dosaženo substrátové produkce 727 Nm<sup>3</sup>/tOS, což opět relativně přesně odpovídá součtu substrátových produkcí 721 Nm<sup>3</sup>/tOS.



Statisticky není mezi variantami kromě kontrolní rozdíl. Je vidět poměrně velký rozdíl mezi nejlepší a nejhorší variantou který převyšuje 10%. Horší výtěžnost bioplynu po přidání žitné siláže mohla způsobit vyšší sklizňová sušina u žita, která místy dosahovala až 45 % a obsahovala proto větší množství nerozložitelného ligninu.

## 6. Diskuse

Heiermann a kol. (2009) uvádí, že rozdíl ve výnosech bioplynu je především způsoben rozdílným chemickým složením substrátu a sklizňovou vlhkostí. To se v našem pokus 3 dle mého názoru mohlo potvrdit, protože sklizňová sušina na některých polích dosahovala až 45 % a žito obsahovalo pak ve fermentoru těžko rozložitelný lignin. Když porovnáme sušiny siláží, které byly v našich pokusech tak hodnota u pokusu 3 byla výrazně vyšší než u neúspěšného pokusu 1, ale i pokusu 2. Hodnota sušiny u pokusu 3 činila u žitné siláže 37,05 %, zatímco u pokusu 1 činila 27,84, 27,92, 28,62 % a u pokusu 2 činila sušina 27,84 %. V našem pokusu 2 se podařilo ověřit výsledky z Německa, kde varianta 85 % kukuřičné + 15 % žitné siláže zvedla výtěžnost bioplynu o 5 %. Varianta 75 % kukuřičné + 25 % žitné siláže zvedla produkci o 13 % (KWS, 2012). V našem pokusu tyto varianty nebyly, ale dají se použít blízké varianty 3 (90 % kukuřičná + 10 % žitná siláž) – navýšení o 14,1 %, varianta 4 (80 % kukuřičná + 20 % žitná siláž) – navýšení o 9,6 % a varianta 5 (70 % kukuřičná + 30 % žitná siláž) – navýšení o 15 % produkce bioplynu.

U varianty 85 % kukuřičná siláž a 15 % žitná siláž činila produkce bioplynu 605,9 l. U varianty 75 % kukuřičná a 25 % žitná siláž činila produkce 652 l. Produkce bioplynu ze 100 % kukuřičné siláže činila 577 l bioplynu (KWS, 2012). V našem pokusu (90 % kukuřičná + 10 % žitná siláž) – 606,6 l, (80 % kukuřičná + 20 % žitná siláž) – produkce 582,5 l a varianta (70 % kukuřičná + 30 % žitná siláž) – produkce 611,6 l bioplynu. Stoprocentní kukuřičná siláž měla produkci 531,6 l bioplynu. Nižší výtěžnost bioplynu může být způsobena použitím jiné technologie pokusu a odlišnými vstupními materiály. V pokusu 3 činilo množství bioplynu ze 100 % kukuřičné siláže 740,4 l bioplynu a 727,1 l bioplynu při poměru kukuřičné a žitné siláže 70:30.

Heiermann a kol. (2009) zkoušeli žito sklízet v různých stupních zralosti s výsledkem 741,8 l/bioplynu v době kvetení a 745 l bioplynu v mléčné zralosti z 1 kg organické sušiny. Herrmann a kol (2012) zkoušeli závislost mezi délkou řezanky a výnosem metanu. Výtěžnost metanu byla při sklizni ve 2. kolénku a na počátku kvetení větší u kratší řezanky, ale rozdíl činil jenom 1,4 % a nebyl statisticky průkazný rozdíl. U žita sklizeného ve voskové zralosti činil rozdíl 4,4 % ve prospěch kratší řezanky (4mm) proti 8 mm řezance. Rozdíl byl statisticky průkazný. Objem bioplynu v našem pokusu 2 30 % BPS a 70 % žitné siláže činil 666,2 l bioplynu z 1 kg organické sušiny. Obsah metanu v bioplynu v mléčné fázi činil 61 %.

Obecně platí že silážovaná hmota má větší výtěžnost bioplynu a metanu než čerstvá píče (Heiermann a kol., 2009). Herrmann a kol (2012) překvapivě zjistili, že s pozdější sklizní klesá výtěžnost metanu. Jejich pokus byl založen na odrůdě Recrut – sklizeň ve 2. kolénku, Vitallo a Permontra – počátek kvetení a Visello – vosková zralost. Z jejich zjištění lze usuzovat, že vosková zralost je už na sklizeň žita pozdě. Výsledky některých parametrů jsou vidět v tabulce 24. Moje zjištění u pokusu 2 ukazuje na množství metanu v bioplynu ve výši 48,4 %. U kukuřice Heiermann a kol. (2009) zjistili průměrný obsah metanu 56,5 %. Naše zjištění ukazuje na hodnotu 48,8 %. Mittweg a kol. (2012) zjistili u kukuřice výtěžnost metanu u kukuřice 351,7 l, zatímco v našem pokusu 2 vyšla hodnota 259,4 l metanu z 1 kg sušiny. Vyšší naopak dopadla výtěžnost metanu u pokusu 3 kde u 100 % kukuřičné siláže činilo množství metanu 399,8 l. U žitné siláže činilo množství metanu 346,5 l a při poměrech 50:50 364,9 l a při poměru 70:30 385,4 l metanu z 1 kg sušiny.

**Tabulka 24. Výtěžnost bioplynu v závislosti na délce řezanky a doby sklizně**

	Sušina (%)	Organická sušina (%)	Výtěžnost metanu l/org. suš.	Metan (%)
Recrut 5,5 mm	25,9	90,7	402,7	54,9
Recrut 9 mm	25,9	90,7	400	55,8
Vitallo 6,8 mm	24,8	96,3	344,7	59,3
Vitallo 11 mm	24,8	96,3	333,7	59,6
Permontra 6,8 mm	22,3	93,6	366,7	63,3
Permontra 11 mm	22,3	93,6	362,8	62,8
Visello 4 mm	36,4	94,5	335,7	56,9
Visello 8 mm	36,4	94,5	321	56,5

Šuk a kol. (1998) uvádí jako optimální termín sklizně u kukuřice mléčně - voskovou zralost. Amon a kol. (2007b) zkoušeli sklízet kukuřici při různých termínech zralosti a sledovali výtěžnost metanu. Varianta 1 byla sklizená 97 dní po založení pokusu v mléčné zralosti, varianta 2 sklizena po 122 dnech po založení ve voskové zralosti a varianta 3 sklizena po 151 dnech po založení porostu v plné zralosti. Tabulka 25 ukazuje výtěžnost metanu z 1 kg sušiny u 4 kukuřičných hybridů. Z tabulky je vidět, že optimální termín je na přelomu mléčně voskové zralosti. To samé potvrzuje ve svém výzkumu i Amon a kol. (2007). V plné zralosti výtěžnost metanu klesá a stoupá i sklizňová sušina, která má nepříznivý vliv na fermentační proces. V tabulce 25 je znázorněna produkce bioplynu, metanu a obsah metanu v bioplynu u kukuřičných hybridů v návaznosti na číslo FAO (Oslaj a kol., 2010). Tento pokus byl ovšem dělán ve Slovinsku a pro vyšší hodnoty FAO jsou u nás tyto výsledky v současné době nepoužitelné.

**Tabulka 25. Výtěžnost metanu u hybridů v závislosti na termínu sklizně (l.kg<sup>-1</sup> sušiny)**

Kukuřičný hybrid	Termín 1	Termín 2	Termín 3
Tonale	339,4	324,8	266,0
PR34G13	313,6	320,7	311,4
Tixxus	295,1	299,7	288,8
LZM 600	296,4	300,6	286,9

Zdroj: Amon a kol., 2007

**Tabulka 26. Výtěžnost bioplynu, metanu a obsah metanu u kukuřičných hybridů z 1 kg sušiny**

Kukuřičný hybrid	FAO	bioplyn z 1 kg sušiny (l)	metan z 1 kg sušiny (l)	obsah metanu v %
PR37D25	400	526	306	58,2
PR37M34	410	603	339	56,3
PIXXIA	420	602	345	57,4
PR37F70	330	544	312	57,3
NKCISKO	390	515	290	56,4

Zdroj: Oslaj a kol., 2010

Organická sušina u vzorků byla podobná. V našem pokusu 2 měla kukuřičná siláž 95,85 % a žitná siláž 95,32 % organické sušiny. U pokusu 3 byla organická sušina u žitné

siláže 95,85 % a u kukuřičné siláže 95,96 %. V Německu u odrůdy žita Picasso v mléčné zralosti bylo 93,2 % organické sušiny a ve voskové zralosti 95 %. U kukuřice odrůd Santiago, Banguy, Mondeo se organická sušina pohybovala v rozmezí 95 - 96,5 % (Heiermann a kol., 2009). Mähnert a Linke (2009) zjistili u svých vzorků u kukuřice organickou sušinu 94,5 % a u žitné siláže 88,2 %. Herrmann a kol. (2011) zjistili u 100 % žitné siláže výtěžnost z organické sušiny po 30 dnech zdržení ve fermentoru ve výši 333,7 l metanu při obsahu 59,6 % metanu v bioplynu a u kukuřičné siláže po 30 dnech 359,8 l metanu při obsahu 56,9 % metanu. V našem pokusu 100 % kukuřičná siláž měla výtěžnost z organické sušiny 302,3 l metanu (48,8 % metanu v bioplynu) a 100 % žitná siláž 322,4 l metanu (48,4 % metanu v bioplynu).

Sušina siláže u odrůdy Picasso byla při sklizni v mléčné zralosti 32,9 %. Německé pokusy nedoporučují sklízet žito ve voskové zralosti kvůli vyššímu obsahu sušiny, která má poté negativní vliv na průběh silážního procesu a tvorbu bioplynu (Heiermann a kol, 2009). Naše zjištění u pokusu 2 ukazuje na sušinu žitné siláže 27,84 %. Negativní vliv vyšší sušiny se potvrdil v našem pokusu 3, kde sušina žitné siláže byla 37,05 %. Následná produkce bioplynu a metanu byla nižší ve srovnání s kukuřičnou siláží. Naměřené pH u odrůdy Picasso bylo v době květu při následném silážování 5,2, v mléčné zralosti bylo pH u siláže 4,4 a ve voskové zralosti u čerstvé hmoty pH 7,2 (Heiermann a kol, 2009), zatímco pH u našeho pokusu 2 bylo 4,08, u pokusu 3 bylo pH 4,6. Sušina u kukuřičné siláže byla v rozmezí 25,1-37 % (Heiermann a kol, 2009), u našeho pokusu 2 měla 100 % kukuřičná siláž sušinu 29,9 %, u pokusu 3 byla naměřena sušina 35,38 %. Naměřené pH u kukuřičné siláže se pohybovalo v rozmezí 3,7-3,8 (Heiermann a kol, 2009), u našeho pokusu 2 pH u 100 % kukuřičné siláže bylo 4,03 a u pokusu 3 bylo pH 3,9. Mähnert a Linke (2009) ve svém pokusu naměřili pH u kukuřičné siláže 3,8, sušinu 30%, organickou sušinu 94,5 % a podíl CH<sub>4</sub> v bioplynu 54,6 %. U žitné siláže činilo pH 4,6, sušina 22,1 %, organická sušina 88,2 % a podíl CH<sub>4</sub> v bioplynu byl 57,2 %. Vyšší procento CH<sub>4</sub> u žitné siláže se potvrdilo v našem pokusu 2 kde byl obsah CH<sub>4</sub> 45,63 % u žitné a 42,53 u kukuřičné siláže. U pokusu 3 byl naopak vyšší podíl CH<sub>4</sub> u kukuřičné siláže.

Odbourání organické sušiny u 100 % kukuřičné siláže bylo 48,2 % (Heiermann a kol, 2009), zatímco odbourání u našeho vzorku bylo ve výši 65,52 %. U žita Picasso bylo odbourání sušiny u siláže v době kvetení 54,1 % a v době mléčné zralosti 46,4 % (Heiermann a kol, 2009). Naše výsledky jsou velmi podobné odbourání sušiny v době kvetení, když u našeho pokusu byla odbouraná sušina ve výši 55,3 %.



## 6.2. Stanovisko k hypotézám

- přidání žitné siláže ke kukuřičné zvyšuje výtěžnost bioplynu

Ano, tato hypotéza se statisticky průkazně prokázala u našeho pokusu 2. Přidání až 30 % žitné siláže ke kukuřičné může zvýšit výtěžnost metanu až o 20,9 %. V pokuse 3 se tato hypotéza nepotvrdila. Výsledky ale nebyly statisticky průkazné. Pravděpodobným důvodem je vyšší sušina u žitné siláže

- obsah metanu u kukuřičné siláže je vyšší než u žitné siláže

Ano, tato hypotéza se potvrdila u pokusu 3, kde obsah metanu v bioplynu byl u kukuřičné siláže vyšší. U pokusu 2 se tato hypotéza nepotvrdila, naopak podíl metanu byl nižší o 3,1 %.

- přidáním žitné siláže ke kukuřičné se stabilizuje průběh produkce bioplynu v čase

Ano, přidání žitné siláže ke kukuřičné stabilizuje proces tvorby bioplynu. Vyšší obsah žitné siláže už ovšem působí nepříznivě jak se potvrdilo v našem pokusu 2.

- optimální poměr kukuřičné a žitné siláže je 1:1

Ne, optimální poměr kukuřičné a žitné siláže se zdá být 70:30. Vyšší procento žitné siláže působí negativně na průběh tvorby bioplynu, metanu a na množství metanu v bioplynu

## 7. Závěr

Jedním z mnoha problémů v zemědělských podnicích u nás je absence osevních postupů. Mnoho podniků se zaměřuje pouze na rostlinnou výrobu a pěstování pšenice, řepky, ječmene jarního případně kukuřice na zrno. Tento problém se ještě zvýšil po boomu bioplynových stanic kde přibýly monokultury kukuřice. Ta prožila v posledních letech renesanci ať už v pěstování na zrno, tak v pěstování pro bioplynové stanice. Kukuřice má velké množství výhod. Její pěstitelská technologie je poměrně dobře zvládnutá a poskytuje velký výnos energie z hektaru. Má ale i mnoho nevýhod, jako je nepříznivý vliv na půdní strukturu, vodní eroze a je atraktivní pro divoká prasata.

### **Pokus 1**

- v neúspěšných pokusech jediné varianta 40 % BPS + 60 % siláže (100 % žitná) poskytovala odpovídající procento metanu se vzrůstající tendencí
- ostatní varianty v neúspěšných pokusech nepřesáhly 30 % metanu v bioplynu
- pravděpodobným důvodem neúspěšného pokusu je nekvalitní inokulát

### **Pokus 2:**

- nejnižší produkci bioplynu měla kontrola (100 % BPS), kde po 14 dnech pokusu byla produkce díky vyčerpání organické hmoty nízká
- druhou nejnižší produkci za den si prakticky po celou dobu pokusu udržela varianta 30 % BPS + 70 % siláže (40 % kukuřičná + 60 % žitná)
- na produkci bioplynu z 1 kg sušiny dopadla varianta 30 % BPS + 70 % siláže (40 % kukuřičná + 60 % žitná) hůře než kontrola (100 % BPS), ale lépe na výtěžnost metanu díky nižšímu procentu metanu u kontroly
- nejlépe na produkci bioplynu a metanu dopadla varianta 30 % BPS + 70 % siláže (70 % kukuřičná + 30 % žitná)
- rozdíl v obsahu metanu u nejlepší varianty 30 % BPS + 70 % siláže (70 % kukuřičná + 30 % žitná) a nejhorší varianty 30 % BPS + 70 % siláže (100% žitná) činil 2,9 %

- odbourání organické sušiny u nejlepší varianty 30 % BPS + 70 % siláže (100 % kukuřičná) a nejhorší 30 % BPS + 70 % siláže (100 % žitná) byl 10,2 %
- varianta 30 % BPS + 70 % siláže (70 % kukuřičná + 30 % žitná) dopadla v porovnání s variantou 30 % BPS + 70 % siláže (100 % kukuřičná), nejčastěji používanou v praxi, lépe o 20,9 % výtěžnosti metanu z 1 kg sušiny
- pozitivní vliv přidání žitné siláže ke kukuřičné je statisticky průkazný

### **Pokus 3:**

- byl naměřen vysoký obsah metanu u inokulátu, který v závěru převyšoval 71 %
- kukuřičná siláž měla větší podíl metanu než žitná siláž i než kombinace kukuřičné a žitné siláže
- výtěžnost bioplynu byla nejvyšší u kukuřičné siláže, pozitivní vliv žitné siláže se nepotvrdil
- statisticky nebyly výsledky průkazné
- možným důvodem nepotvrzením příznivého vlivu žita může být vyšší sklizňová sušina a následně i sušina siláže

Význam kukuřice v českém zemědělství bude i dále narůstat. Prostor pro zvětšování ploch silážní kukuřice ať už pro výživu skotu, nebo pro bioplynové stanice je však už vyčerpán. Řešením diverzifikace plodin, rozložením pracovních špiček v podnicích může být žito. Mezi hlavní výhody žita lze zmínit nenáročnost na půdní podmínky, větší kořenový systém než jiné obilniny, vysoká mrazuvzdornost a nízké náklady na pěstování. Jako hlavní důvod lze ale zmínit, že žito není ohroženo GAEC a může být tedy pěstováno i na svažitých pozemcích. Žito lze také sklízet v květnu na senáž, nebo v červnu na siláž a může být po něm naseta další plodina. Lze tak dosáhnout 2 sklizně za rok. Následnou plodinou může být například raný čirok nebo velmi raná kukuřice. Žito je taky dobrá předplodina pro řepku pod kterou se dá časově dobře připravit.

## 8. Použitá literatura

1. Amon, T., Amid, A., Amon, B., Buga, S., Kryvoruchko, V., Mayer, K., Zollitsch, W. 2003. Biogaserzeugung aus Mais – Einfluss der Inhaltsstoffe auf das spezifische Methanbildungsvermögen von früh - bis spatreifen Maissorten. In: BAL Gumpenstein (Ed.) Beitrag zur 54. Zuchtertagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 25.- 27. November 2003. 1-10.
2. Amon, T., Amon, B., Bodiroza, V., Kryvoruchko, V. 2005. Das Methanbildungsvermögen und die Biogasqualität bei der Vergärung von Energiepflanzen. [online]. Wien. Universität für Bodenkultur Wien. [cit. 2013-02-02]. Dostupné <[http://www.saatbaulinz.at/downloads/Biogas-Studie-Boku\\_2005.pdf](http://www.saatbaulinz.at/downloads/Biogas-Studie-Boku_2005.pdf)>
3. Amon, T., Amon, B., Bodiroza, V., Boxberger, J., Friedel, J.K., Hopfner-Sixt, K., Hrbek, R., Kryvoruchko, V., Ramusch, M., Zollitsch, W. 2006. Biogaserzeugung aus Energiepflanzen. Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft. [online]. [cit. 2013-02-02]. Dostupné <[http://www.lebensministerium.at/dms/lmat/land/laendl\\_entwicklung/Online-Fachzeitschrift-Laendlicher-Raum/archiv/2006/amon/Thomas-Amon-ua----Biogaserzeugung-aus-Energiepflanze/Thomas%20Amon%20ua.%20-%20Biogaserzeugung%20aus%20Energiepflanze.pdf](http://www.lebensministerium.at/dms/lmat/land/laendl_entwicklung/Online-Fachzeitschrift-Laendlicher-Raum/archiv/2006/amon/Thomas-Amon-ua----Biogaserzeugung-aus-Energiepflanze/Thomas%20Amon%20ua.%20-%20Biogaserzeugung%20aus%20Energiepflanze.pdf)>
4. Amon, T., Amon, B., Bodiroza, V., Friedel, J., Hopfner-Sixt, K., Hrbek, R., Kryvoruchko, V., Machmüller, A., Pötsch, E. Schreiner, M., Wagentristl, H., Zollitsch, W. 2007a. Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations. *Bioresource Technology*. 17 (4). 3204-3212.
5. Amon, T., Amon, B., Gruber, L., Kryvoruchko, V., Mayer, K., Zollitsch, W. 2007b. Biogas production from maize and dairy cattle manure—Influence of biomass composition on the methane yield. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 25 (1). 173-182.
6. Bagar, M., Teplý, M., Broklová, M., Pniak, M. 2014. Nové trendy v ochraně kukuřice před zavíječem. In: Kolektiv autorů (eds). *Kukuřice v praxi 2014 – Sborník z konference s mezinárodní účastí*. KWS. Brno. s. 29-32. ISBN: 978-80-7375-937-7
7. Baier, J. 1980. Živiny jako vegetační faktor. In: Petr, J. (eds.). *Tvorba výnosu hlavních polních plodin*. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. s. 24-31.

8. Fachverband Biogas e.V.. Branchenzahlen 2011 und Branchenentwicklung 2012/2013 [online]. Freising. Fachverband Biogas e.V. [cit.2013-02-12]. Dostupné <[http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE\\_Branchenzahlen/\\$file/12-11-29\\_Biogas%20Branchenzahlen%202011-2012-2013.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/12-11-29_Biogas%20Branchenzahlen%202011-2012-2013.pdf)>
9. CZBA. 2015 [online]. CZBA. [cit. 2015-03-29]. Dostupné < <http://www.czba.cz/> >
10. ČSÚ. 2015. Vývoj ploch osevů k 31. květnu. [online]. ČSÚ. [cit.2015-02-16]. Dostupné < <https://www.czso.cz/documents/10180/20543415/2701431402.pdf/b3938aab-fa8d-435b-a4e8-a5fda2a28cb1?version=1.0>>
11. FAOSTAT. 2015 [online]. FAOSTAT [cit. 2015-02-16]. Dostupné <<http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>
12. Fuksa, P., Hakl, J., Kocourková, D., 2006. Produkční charakteristiky různě raných hybridu kukuřice. Úroda. 54 (3). 24-26.
13. Haš, S., Adamovský, R., Andert, D., Berounský, B., Bouček, J., Hutla, P., Jelínková, H., Jevič, P., Kára, J., Kosek, J., Pázral, E., Pick, E., Ruml, M., Souhrada, J. 1985. Energie v zemědělství. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 384 s. ISBN: není uvedeno.
14. Heiermann, M., Herrmann, C., Linke, B., Plöchl, M., Schelle, H. 2009. Biogas Crops – Part I: Specifications and Suitability of Field Crops for Anaerobic Digestion. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. 11 (1). 1-17.
15. Herrmann, C., Heiermann, M., Idler, C. 2011. Effects of ensiling, silage additives and storage period on methane formation of biogas crops. Bioresource Technology. 21 (1). 5153-5161.
16. Herrmann, C., Heiermann, M., Idler, C., Prochnow, A. 2012. Particle Size Reduction during Harvesting of Crop Feedstock for Biogas Production I: Effects on Ensiling Process and Methane Yields. BioEnergy Research. 5(4). 926-936.
17. Hezký, P. 2012. Využití digestátu jako hnojiva. Farmář. 18 (11). 28-29.
18. Houšť, M., Smutný, V., Procházková, B., Neudert, L., Lukas, V.. 2014. Vliv agrotechnických zásahů na udržení půdní úrodnosti. In: Kolektiv autorů (eds). Kukuřice v praxi 2014 – Sborník z konference s mezinárodní účastí. KWS. Brno. s. 12-22. ISBN: 978-80-7375-937-7
19. Hůla, J., Procházková, B. a kol. 2008. Minimalizace zpracování půdy. Profi press. Praha. 248 s. ISBN: 978-80-86726-28-1

20. Chen, S., Chen, B. 2012. Sustainability and future alternatives of biogas-linked agrosystem (BLAS) in China: An emergy synthesis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16 (1). 3948-3959.
21. Černý, O. 2005. Zakládání porostů kukuřice půdoochrannými technologiemi. [online] [cit. 2011-02-27]. Dostupné < <http://www.monsanto.cz/zakladaniporostukukurice.html>>
22. Jansone, I., Gaile, Z. 2011. Ziemas rudzu un tritikāles skābarība biogāzes ražošanai. [online] [cit. 2015-03-29]. Dostupné < <http://lufb.llu.lv/conference/LLU-Vecauce/2011/Vecauce2011.pdf>>
23. Kačicová, L. 2005. Zakládání porostů kukuřice v letošním roce. [online], kws.de, [cit. 2012-01-10]. Dostupné <[http://www.kws.de/aw/KWS/czechia/Produkty/Kuku\\_345\\_ice/Articles\\_from\\_different\\_years/rok\\_2006/Articles\\_2005/~bnup/Zakladan\\_porost\\_367\\_kuku\\_345\\_ice\\_v\\_l/](http://www.kws.de/aw/KWS/czechia/Produkty/Kuku_345_ice/Articles_from_different_years/rok_2006/Articles_2005/~bnup/Zakladan_porost_367_kuku_345_ice_v_l/)>
24. Kalus, J. a kol. 1953. *Agrotechnika hlavních zemědělských plodin obilniny*. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 392 s.
25. Kára, J., Pastorek, Z. 2005. Využití infrastruktury stávajících ČOV pro výstavbu bioplynových stanic. In: *Sborník konference – Možnosti zvýšení výroby bioplynu u stávajících zařízení = Possibilities for Increase of Biogas Production on Existing Biogas Plants* : 13.-14. října 2005, Třeboň. CZ Biom. Praha. 19-23. ISBN: 80-239-5769-4
26. Kazda, J., Mikulka, J., Prokinová, E. 2010. *Encyklopedie ochrany rostlin*. Profí Press. Praha. 399 s. ISBN: 978-80-86726-34-2
27. Khanal, S., K. 2008. *Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production: Principles and Applications*. Blackwell Publishing. Manoa. 308 s. ISBN: 978-0-8138-2346-1
28. Kolář, L., Vaněk, V., Kužel, S., 2010. Využití odpadů z bioplynových stanic. *Racionální použití hnojiv - sborník z konference*, ISBN 978-80-213-2006-2
29. Kratochvílová, Z., Dvořáček, T., Habart, J., Jelínek, F., Rosenberg, T., Sladký, V., Stupavský, V. 2009. *Průvodce výrobou a využitím bioplynu*. CZ Biom. Praha. 155 s. ISBN: 978-80-903777-5-2
30. Křístková, M. 2009. *Dosavadní zkušenosti s pěstováním geneticky modifikované Bt kukuřice v ČR 2005-2009*. Ministerstvo zemědělství. Praha. 44 s. ISBN: 978-80-7084-871-5

31. Lekeš, J., Čapek, J., Halva, E., Hýža, V., Ulmann, L., Váňová, M. 1990. Žito. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 248 s. ISBN: 80-209-0159-0
32. Loučka, R. 2011. Hlavní pravidla silážování kukuřice. Úroda. 59 (9). 47-50.
33. Mähnert, P., Linke, B. 2009. Kinetic study of biogas production from energy crops and animal waste slurry: Effect of organic loading rate and reactor size. Environmental Technology 30 (1). 93-99.
34. Macháň, F. 1997. Hybridní odrůdy žita. Institut výchovy a vzdělávání MZe ČR v Praze. Praha. 26 s. ISBN: 80-7105-151-9
35. McDonald, P., Henderson, A. R., Heron, S.J.E. 1991. The Biochemistry of Silage, second ed. Chalcombe Publications. Marlow. p. 340. ISBN: 9780948617225.
36. Miedaner, T., Hübner, M., Koch, S., Seggl, A., Wilde, P. 2010. Biomass yield of self-incompatible germplasm resources and their testcrosses in winter rye. Plant Breeding. 25 (1). 369-375.
37. Mikulka, J., Chodová, D., Oliberius, J. (1996) Systém hubení plevelů v cukrovce a kukuřici, Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha ve spolupráci s Ministerstvem zemědělství ČR, 26 s. ISSN 0231-9470
38. Ministerstvo zemědělství. 2007. Ministerstvo zemědělství. Praha. 24 s. ISBN: 978-80-7084-618-6
39. Mittweg, G., Hahn, V., Lemmer, A., Oechsner, H., Reinhardt-Hanisch, A. 2012. Repeatability of a laboratory batch method to determine the specific biogas and methane yields. Engineering in Life Sciences. 12 (3). 270-278.
40. Novák, J., Skalický, M. 2008. Botanika: cytologie, histologie, organologie a systematika. Powerprint. Praha. 327 s. ISBN: 978-80-904011-1-2
41. Oslaj, M., Mursec, B., Vindis, P. 2010. Biogas production from maize hybrids. Biomass and bioenergy. 20 (1). 1538-1545.
42. Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P. 2004. Biomasa obnovitelná zdroj energie. FCC Public s.r.o. Praha. 288 s. ISBN: 8086534065.
43. Pastorek, Z., Wolff, J. 1993. Výroba a využití bioplynu v zemědělství. Agrospoj. 4 (44). 1-10.
44. Pastorek, Z. 2012. Bioplyn – energie z biomasy. In: Benda, V. (eds.). Obnovitelné zdroje energie. Profí Press. Praha. s. 36-57. ISBN: 978-80-86726-48-9

45. Pawlica, P. 2010. Sušení odpadním teplem z bioplynové stanice. [online]. Biom.cz. [cit. 2012-12-13]. Dostupné <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/suseni-odpadnim-teplem-z-bioplynovy-stance>>
46. Petr, J., Beneš, F., Lachman, J., Martínek, P., Mudřík, Z., Poláčková, J., Příhoda, J., Říha, K., Váňová, M. 2008. Žito a triticales biologie, pěstování, kvalita a využití. Profí Press. Praha. 192 s. ISBN: 978-80-86726-29-8
47. Petr, J. 1995. Základy pěstování žita. Institut výchovy a vzdělávání MZe ČR v Praze. Praha. 30 s. ISBN: 80-7105-108-X
48. Petr, J., Capouchová, I. 1997. Pěstování hybridních odrůd žita. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 36 s. ISSN:0231-9470
49. Prokeš, K. 2012. O efektivním provozu rozhoduje použitý substrát. Farmář. 18 (6). 69-71.
50. Přikryl, J. 2012. Ovlivnění nutričních a dietetických ukazatelů kukuřičné siláže, vliv na výživu skotu, výrobu bioplynu. In: Kolektiv autorů (eds). Kukuřice v praxi 2012 – Sborník z konference s mezinárodní účastí. KWS. Brno. s. 62-70. ISBN: 978-80-7375-591-1
51. Přikryl, J. 2009. Využití energetického potenciálu kukuřice v oblasti výživy dojníc a bioplynových stanic. In: Kolektiv autorů (eds). Kukuřice v praxi 2009 – Sborník z konference s mezinárodní účastí. KWS. Brno. s. 32-36. ISBN: 978-80-7375-263-7
52. Románková, Z., Prokeš, K. 2010. Intenzitou proti krizi aneb co rozhoduje o ekonomické výrobě mléka?. In: Kolektiv autorů (eds). Kukuřice v praxi 2010 – Sborník z konference s mezinárodní účastí. KWS. Brno. s. 7-11. ISBN: 978-80-7375-371-9
53. Románková, Z., Stropnický, M. 2006. Kukuřice na výrobu bioplynu. Moderní rostlinná výroba – příloha zemědělského týdeníku. 9 (4). 13.
54. Roux, S., Schlathölters, M., R., Wortmann, H.. 2010. Züchterisches Potenzial von Roggen (*Secale cereale* L.) für die Biogaserzeugung Rye (*Secale cereale* L.) for biogas production – Breeding capability. Journal für Kulturpflanzen. 62 (5). 173-182.
55. Schmidt, W., Beyrich, H., Gottschling, E. M., Müller, M., Wetterau, H. 1972. Silageherstellung. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag. Berlín. 512 s.
56. Schulz, H., Eder, B. 2004. Bioplyn v praxi Teorie- projektování – stavba zařízení – příklady. HEL. Ostrava. 168 s. ISBN: 80-86167-21-6
57. Smale, M., Edmeades, S., Groote, H. 2006. Genetic resource policies : Promising crop biotechnologies for smallholder farmers in east Africa: Bananas and Maize. [s.l.] :



International food policy research institute, 20 s. Dostupné <  
<http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/br1004.pdf>>

58. Straka, F., Dědek, J., Dohányos, M., Malijevský, A., Novák, J., Oldřich, J., Zábranská, J. 2003. Bioplyn příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů. GAS s.r.o. Říčany. 517 s. ISBN: 80-7328-029-9
59. Stratilová, Z. 2012. GMO bez obalu. Ministerstvo zemědělství. Praha. 31 s. ISBN: 978-80-7434-057-4
60. Špaldon, E., Andraščík, M., Bechyně, M., Belej, J., Fric, V., Fuciman, L., Hruška, L., Krausko, A., Petr, J., Rybáček, V., Váša, F., Votoupal, B., Vrzalová, J. 1982. Rastlinná výroba. Příroda Bratislava. 627 s.
61. Šuk, J., Balík, J., Jacobe, P., Jambor, V., Kohout, V., Loučka, R., Táborský, V., Vrzal, J. 1998. Kukuřice. VP AGRO Kněžves. Kněžves. 131s. ISBN: 80-86153-99-1
62. Trávníček, P., Karafiát, Z. 2009. Kogenerace pomocí plynových spalovacích motorů. [online]. Biom.cz. 2009-04-15 [cit. 2013-01-12]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kogenerace-pomoci-plynovych-spalovacich-motoru>>.
63. Ust'ak, S., Habart, J., Juchelková, D., Kára, J., Kramoliš, P., Slejška, A., Šafařík, M., Vach, M., Váňa, J., Žídek, M. 2006. Bioplynová fermentace biomasy a biologicky rozložitelných odpadů. CZ Biom. Praha. 180 s. ISBN: 80-903777-0-X
64. Valíček, P., Hlava, B., Hušák, S., Kokoška, L., Matejka, V., Michl, J., Pavel, L., Polesný, Z., Wroblewská, E., Zelený, V. 2002. Užitkové rostliny tropů a subtropů. Academia. Praha. 486 s. ISBN: 80-200-0939-6
65. Váňa, J. Bioplynové stanice na využití bioodpadů. Biom.cz. [online]. 2010. [cit. 2012-12-11]. Dostupné <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovye-stanice-na-vyuziti-bioodpadu>>
66. Vidovič, J. 1980. Tvorba výnosu kukuřice. In: Petr, J. (eds.). Tvorba výnosu hlavních polních plodin. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. s. 204-228.
67. Vrzal, J., Novák, D., Kohout, V., Štráfelda, J. 1995. Pěstování kukuřice a jednoletých píceň. Institut výchovy a vzdělávání MZe ČR v Praze. Praha. 32 s. ISBN: 80-7105-097-0
68. Weiland, P. 2010. Biogas production: current state and perspectives. Applied microbiology and biotechnology. 85(4). 849-860.
69. Zimolka, J. a kol. 2008. Kukuřice – hlavní a alternativní užitkové směry. Profi Press. Praha. 200 s. ISBN: 978-80-86726-31-1

70. Zimolka, J. a kol. 2006. Ječmen – formy a užitkové směry v České republice. Profi Press. Praha. 200 s. ISBN: 80-86726-18-5

## 9. Přílohy

**Obrázek 8. Sklizeň žita**



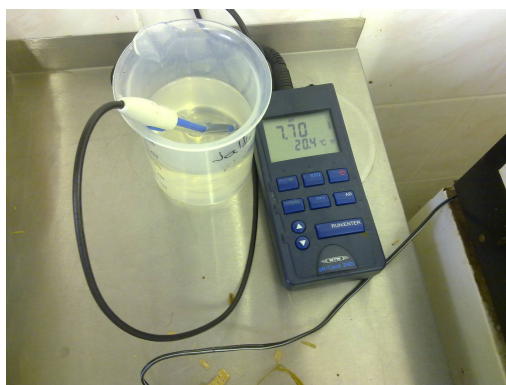
**Obrázek 9. Dusání žitné siláže**



**Obrázek 10. Analysátor plynů**



**Obrázek 11. Měření pH**



**Obrázek 12. Vodní lázeň s termostatem**



**Obrázek 13. Mikrofermentory s materiálem**



**Obrázek 14. Žitná siláž**



**Obrázek 15. Kukuřičná siláž**



**Obrázek 16. Homogenizování inokulátu**



**Obrázek 17. Místo na „stříknutí“ bioplynu k analyzování složení**



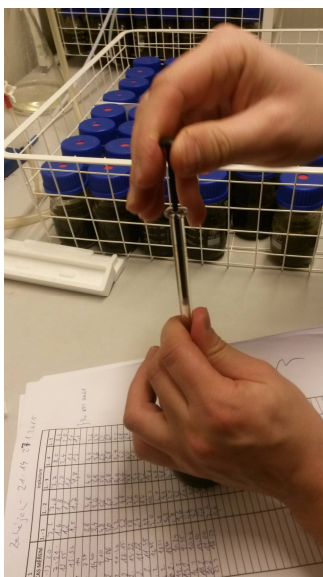
**Obrázek 18. Analyzování složení bioplynu**



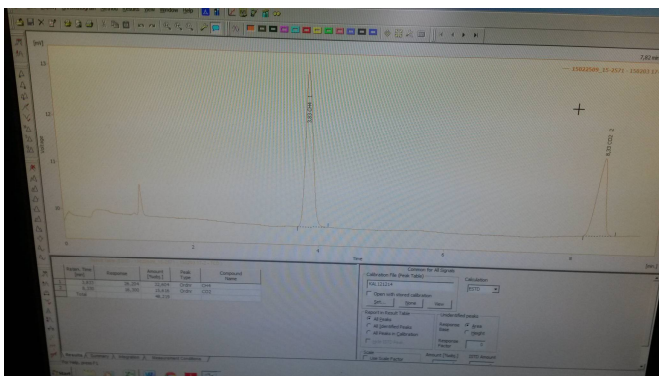
**Obrázek 19. Stříkačka na odběr bioplynu ke stanovení složení**



**Obrázek 20. Odběr bioplynu k analyzování**



**Obrázek 21. Křivky složení bioplynu na PC**



**Obrázek 22. Stanovení množství bioplynu**



## 10. Seznam (grafy, tabulky, obrázky)

GRAF 1. VÝMĚRA KUKUŘICE VE SVĚTĚ (TIS. HA) .....	13
GRAF 2. VÝMĚRA KUKUŘICE V ČR 1980 - 2014 (HA) .....	13
GRAF 3. PLOCHA ŽITA VE SVĚTĚ (MIL. HA) .....	28
GRAF 4. PLOCHY VYBRANÝCH STÁTŮ V LETECH 1994-2013 (MIL. HA) .....	29
GRAF 5. VÝVOJ OSEVŮ ŽITA V LETECH 1980 – 2014.....	29
GRAF 6. MNOŽSTVÍ METANU V BIOPLYNU POKUS 6.12.2012 – 4.1.2013 .....	58
GRAF 7. MNOŽSTVÍ METANU V BIOPLYNU POKUS 7.1. – 13.2.2013.....	58
GRAF 8. MNOŽSTVÍ METANU V BIOPLYNU POKUS 14.2. – 20.3.2013.....	58
GRAF 9. VÝVOJ PRODUKCE BIOPLYNU .....	59
GRAF 10. PRODUKCE BIOPLYNU VE FERMENTORECH (L) .....	60
GRAF 11. PRODUKCE BIOPLYNU Z 1 KG SUŠINY (L) .....	61
GRAF 13. MNOŽSTVÍ METANU V BIOPLYNU (%) .....	62
GRAF 14. PRODUKCE METANU Z 1 KG SUŠINY (L).....	63
GRAF 15. PRŮMĚRNÝ OBSAH METANU V BIOPLYNU (%) .....	64
GRAF 16. ODBOURÁNÍ ORGANICKÉ SUŠINY (%) .....	65
GRAF 17. PRODUKCE BIOPLYNU Z 1 KG ORGANICKÉ SUŠINY (L).....	65
GRAF 18. PRODUKCE METANU Z 1 KG ORGANICKÉ SUŠINY (L) .....	66
GRAF 19. PRŮBĚH PRODUKCE BIOPLYNU – KUMULOVANÁ PRODUKCE .....	66
OBRÁZEK 1. DYNAMIKA ODBĚRU ŽIVIN KUKUŘICÍ PŘI VÝNOSU 7 TUN ZRNA .....	16
OBRÁZEK 2. FREKVENCE VÝSKYTU JEDNOTLIVÝCH PLEVELŮ V KUKUŘICI .....	18
OBRÁZEK 3. MLÉČNÁ LINIE U KUKUŘICE .....	24
OBRÁZEK 4. FÁZE TVORBY BIOPLYNU .....	38
OBRÁZEK 5. SCHÉMA EXPERIMENTU .....	52
OBRÁZEK 6. SCHÉMA MĚŘENÍ PRODUKCE BIOPLYNU PLYNOMĚRNOU BYRETOU .....	53
OBRÁZEK 7. PLYNOMĚRNÁ BYRETA .....	53
OBRÁZEK 8. SKLIZEŇ ŽITA.....	82

OBRÁZEK 9. DUSÁNÍ ŽITNÉ SILÁŽE .....	82
OBRÁZEK 10. ANALYSÁTOR PLYNŮ .....	83
OBRÁZEK 11. MĚŘENÍ PH .....	83
OBRÁZEK 12. VODNÍ LÁZEŇ S TERMOSTATEM .....	83
OBRÁZEK 13. MIKROFERMENTORY S MATERIÁLEM .....	84
OBRÁZEK 14. ŽITNÁ SILÁŽ.....	84
OBRÁZEK 15. KUKUŘIČNÁ SILÁŽ .....	84
OBRÁZEK 16. HOMOGENIZOVÁNÍ INOKULÁTU.....	85
OBRÁZEK 17. MÍSTO NA „STŘÍKNUTÍ“ BIOPLYNU K ANALYZOVÁNÍ SLOŽENÍ.....	85
OBRÁZEK 18. ANALYZOVÁNÍ SLOŽENÍ BIOPLYNU .....	85
OBRÁZEK 19. STŘÍKAČKA NA ODBĚR BIOPLYNU KE STANOVENÍ SLOŽENÍ.....	86
OBRÁZEK 20. ODBĚR BIOPLYNU K ANALYZOVÁNÍ.....	86
OBRÁZEK 21. KŘIVKY SLOŽENÍ BIOPLYNU NA PC .....	86
OBRÁZEK 22. STANOVENÍ MNOŽSTVÍ BIOPLYNU.....	87
TABULKA 1. STŘEDNÍ ODBĚR ŽIVIN V KG NA TUNU PRODUKTU .....	16
TABULKA 2. VÝTĚŽNOST ZRNA V ZÁVISLOSTI NA VLHKOSTI .....	20
TABULKA 3. ROZDĚLENÍ KUKUŘICE DLE FAO .....	21
TABULKA 4. VLIV VÝNOSU KUKUŘICE NA POTŘEBU PLOCHY A CELKOVÉ NÁKLADY NA VÝROBU 1 000 TUN SILÁŽE .....	22
TABULKA 5. VLIV OBSAHU SUŠINY NA VÝNOS SUŠINY Z 1 HA PŘI VÝNOSU 60 T ZELENÉ HMOTY .....	24
TABULKA 6. VLASTNOSTI KUKUŘIČNÉ A ŽITNÉ SILÁŽE .....	33
TABULKA 7. POROVNÁNÍ OBSAHU NĚKTERÝCH ŽIVIN V JEDNOTLIVÝCH PLODINÁCH .....	34
TABULKA 8. SLOŽENÍ BIOPLYNU.....	36
TABULKA 9. POŽADOVANÉ VLASTNOSTI BIOPLYNU.....	36
TABULKA 10. LÁTKY, JEJICH VÝNOS BIOPLYNU A OBSAH METANU V NĚM .....	39
TABULKA 11. POKUS 1 – 6.12.2012 – VSTUPNÍ ÚDAJE.....	46
TABULKA 12. POKUS 1 – 7.1.2013 VSTUPNÍ ÚDAJE .....	46
TABULKA 13. POKUS 1 – 14.2.2013.....	46
TABULKA 14. POKUS 1 – TYPY VZORKŮ.....	48
TABULKA 15. POKUS 2 – 2.12.2011 - VSTUPNÍ ÚDAJE.....	49
TABULKA 16. POKUS 2 – TYPY VZORKŮ.....	50
TABULKA 17. POKUS 3 – 27.1.2015 – VSTUPNÍ ÚDAJE .....	51
TABULKA 18. POKUS 3 – TYPY VZORKŮ.....	52
TABULKA 19. POKUS 3 – TYPY VZORKŮ.....	56
TABULKA 20. PRODUKCE BIOPLYNU Z 1 KG SUŠINY.....	61
TABULKA 21. PH SUBSTRÁTU NA VSTUPU A NA VÝSTUPU .....	64
TABULKA 22. KONCENTRACE METANU .....	67
TABULKA 23. VÝTĚŽNOST BIOPLYNU .....	67
TABULKA 24. VÝTĚŽNOST BIOPLYNU V ZÁVISLOSTI NA DÉLCE ŘEZANKY A DOBY SKLIZNĚ .....	70
TABULKA 25. VÝTĚŽNOST METANU U HYBRIDŮ V ZÁVISLOSTI NA TERMÍNU SKLIZNĚ (L.KG <sup>-1</sup> SUŠINY) .....	71
TABULKA 26. VÝTĚŽNOST BIOPLYNU, METANU A OBSAH METANU U KUKUŘIČNÝCH HYBRIDŮ Z 1 KG SUŠINY..	71