

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Zemědělská fakulta

---

Studijní program: B4131 Zemědělství

Studijní obor: Trvale udržitelné systémy hospodaření v krajině

Katedra rostlinné výroby a agroekologie

Bakalářská práce

Využití kukuřice seté (*Zea Mays*) pro  
nepotravinářské účely

Vedoucí bakalářské práce:  
Ing. Zdeněk Štěrbá Ph.D

Autor bakalářské práce:  
Pavel Zelenka

---

České Budějovice 2013



Děkuji **Ing. Zdeňku Štěřbovi Ph.D.** za vedení mé bakalářské práce a za veškerou pomoc při jejím uskutečnění.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě – v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných zemědělskou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích  
dne 12. 04. 2013

.....  
podpis autora

**Abstract:**

The intention of the bachelor thesis was to write a summary about the use of maize like a renewable resource, especially for the production of heat, electric energy and biofuels. The thesis is developed in the form of literary glossary topic. The use of agricultural crops in the energy sector and industry is very current. It offers possibilities to partially replace fossil fuels and thus not only reduce greenhouse gas emissions, but also the dependence on oil, coal and natural gas. In this way, we can solve the problems of the utilization of agricultural land referred to a standstill.

**Keywords: maize, biogas, bioethanol, renewable energy resource**

**Výtah:**

Hlavním záměrem bakalářské práce bylo shrnutí poznatků o možnostech využití kukuřice jako obnovitelného zdroje, zejména pro výrobu tepla, elektrické energie a biopaliv. Práce je vypracována formou literární rešerše. Využití zemědělských plodin v energetice a průmyslu je velmi aktuální. Nabízí možnosti, jak částečně nahradit fosilní paliva a tím nejen snížit emise skleníkových plynů, ale i závislost na ropě, uhlí a zemním plynu. Tímto způsobem lze vyřešit problematiku využití zemědělské půdy uvedené do klidu.

**Klíčová slova: kukuřice, bioplyn, bioetanol, obnovitelné zdroje energie**

## Obsah:

<b>1. Úvod</b>	<b>8</b>
<b>2. Možnosti využití obnovitelných zdrojů v ČR</b>	<b>9</b>
2.1 Přínosy a překážky při pěstování rostlin pro nepotravinářskou produkci	11
2.2 Výhody a nevýhody využití biomasy k energetickým účelům	11
<b>3. Způsoby získávání energie z biomasy</b>	<b>12</b>
<b>4. Pěstování kukuřice (<i>Zea Mays</i>)</b>	<b>12</b>
4.1 Požadavky kukuřice na klimatické a půdní podmínky	13
4.2 Zařazení do osevního postupu	13
4.3 Příprava půdy	14
4.4 Setí	14
4.5 Hnojení	14
4.6 Ošetření porostu v průběhu vegetace	15
4.7 Sklizeň kukuřice na siláž	16
4.8 Možnost pěstování kukuřice s podsevem	16
<b>5. Využití kukuřice k výrobě tepla</b>	<b>16</b>
5.1 Spalování slámy	17
5.2 Objem produkce obilní slámy v ČR	17
5.3 Úprava slámy před spalováním	17
5.4 Spalování celých obilovin	18
<b>6. Využití kukuřice k výrobě elektřiny a tepla</b>	<b>18</b>
6.1 Bioplynová stanice	18
6.1.1 Vývoj v Německu	19
6.1.2 Situace v ČR	19
6.1.3 Technicko – ekonomické hodnocení bioplynových stanic	21
6.2 Vznik bioplynu	22
6.3 Složení a kvalita bioplynu	23
6.3.1 Vlhké prostředí	24
6.3.2 Zabránění přístupu vzduchu	25
6.3.3 Stálá teplota	25
6.3.4 pH materiálu	25
6.3.5 Poměr uhlíku a dusíku	26
6.3.6 Inhibitory	26
6.4 Hlavní ukazatele výroby bioplynu	26
6.4.1 Zatížení vyhnívajícího prostoru	26
6.4.2 Rovnoměrný přísun substrátu	26
6.4.3 Odplynování substrátu	26
6.4.4 Plynový výkon	27
6.4.5 Výnos plynu	27
6.4.6 Stupeň rozkladu	27
6.4.7 Doba kontaktu	28
6.4.8 Čistý (netto) výnos plynu	28
6.5 Výroba bioplynu	28
6.6 Výběr vhodné odrůdy	29
6.7 Bioplynové technologie	30
6.7.1 Dávkový způsob	30
6.7.2 Střídání nádrží	30
6.7.3 Průtokový způsob	30
6.7.4 Metoda se zásobníkem	31

6.7.5 Kombinovaná průtoková metoda se zásobníkem	31
6.7.6 Jednostupňový nebo víceúrovňový proces	31
6.8 Využití bioplynu	32
6.9 Využití odpadního tepla	33
6.10 Využití digestátů jako organického hnojiva	33
<b>7. Využití kukuřice pro výrobu pohonných hmot</b>	<b>36</b>
7.1 Legislativní podmínky ve světě a v ČR	37
7.1.1 Politika biopaliv v Brazílii	37
7.1.2 Politika biopaliv v USA	37
7.1.3 Politika biopaliv v EU	37
7.1.4 Podpora biopaliv v ČR	38
7.2. Konkurenční schopnost etanolu	38
7.3. Výroba alkoholu	38
7.4 Výtěžnost a energetická bilance alkoholu	39
7.5 Použití etanolu pro benzinové motory	39
7.5.1 Výhody a nevýhody použití etanolu jako alternativního paliva	40
7.5.2 Obecné hodnocení směsi benzínu s 10 % etanolu	41
7.5.3 Přínos spalování paliva E85	41
7.6 Biobutanol jako kvalitní náhrada benzínu	42
<b>8. Využití kukuřice k výrobě škrobu</b>	<b>44</b>
<b>9. Využití kukuřice ke krmným účelům</b>	<b>46</b>
9.1 Silážní kukuřice	46
9.2 Silážované produkty z dělené sklizně kukuřice	48
9.3 Silážování vlhkého kukuřičného zrna	50
9.4 Kukuřice v krmných směsích	50
<b>10. Závěr</b>	<b>51</b>
<b>11. Seznam použité literatury</b>	<b>52</b>
<b>12. Přílohy</b>	<b>55</b>

## 1. Úvod

Člověk využíval obnovitelné zdroje k výrobě energie od okamžiku, kdy se naučil ovládat oheň. Postupem času se naučil využívat i vodu a vítr jako zdroje energie k pohonu mlýnů, hamrů a čerpadel. V 18. století byl vynalezen parní stroj a v 19. století proběhla průmyslová revoluce. Od tohoto okamžiku se velmi výrazně obrátil poměr spotřeby surovin pro výrobu energií. Došlo k nárůstu spotřeby uhlí a později i ropy. V 70. letech nastala ropná krize, která přinutila lidstvo se zamyslet nad závislostí systému na ropě a možností vyčerpání fosilních paliv.

Využití biomasy pro energetické účely se v dnešní době jeví jako velmi perspektivní způsob výroby energie a pohonných hmot. Ceny fosilních paliv neustále rostou a zásoby se snižují. V EU, ale i v USA nebo v Brazílii se úspěšně využívá obnovitelných zdrojů k výrobě elektrické energie, tepla a pohonných hmot. Za posledních několik let došlo k výraznému nárůstu využívání obnovitelných zdrojů, zejména využití sluneční energie jako nejlevnějšího a nejpřirozenějšího zdroje energie na Zemi. Tato energie je využívána buď přímo jako zdroj tepla ve slunečních kolektorech nebo pro výrobu elektrické energie ve fotovoltaických elektrárnách. Nejpřirozenější způsob využití této energie je pěstování fytomasy, která se dále zpracovává a využívá jako surovina pro výrobu energií. V našich podmínkách se hlavně využívají obiloviny, řepka a brambory.



## 2. Možnosti využití obnovitelných zdrojů v ČR

Sluneční záření zabezpečuje fotosyntézu zelených rostlin, při které se chlorofylem váže sluneční energie a její pomocí dochází složitými procesy k tvorbě organických látek z oxidu uhličitého přítomného ve vzduchu. Fotosyntéza zajišťuje nejen růst zelených rostlin a tím i život dalších organismů na Zemi, ale též produkci energeticky využitelné biomasy. Z tohoto pohledu jsou biopaliva konzervovanou sluneční energií. V období průmyslového rozvoje v posledních dvou stoletích došlo k intenzivnímu využívání fosilních paliv, což vede k navyšování koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře. Zvyšující se koncentrace oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů (metan, oxid dusný, freony) v atmosféře omezují vyzařování nahromaděného tepla zpět do vesmíru, což má za následek globální oteplování a klimatickou změnu. Spálením 1 kg černého uhlí vzniká 2,56 kg CO<sub>2</sub>, spálením 1 kg motorové nafty se uvolní 3,12 kg CO<sub>2</sub> a spálením 1 m<sup>3</sup> zemního plynu 2,75 kg CO<sub>2</sub>. Při spalování biomasy rovněž vzniká oxid uhličitý, který však skleníkový efekt nenavyšuje, protože rostliny za svého růstu odebírají z ovzduší CO<sub>2</sub> a při spalování ho do ovzduší opět vracejí. Vzhledem k tomu, že průměrná délka života rostlinné biomasy je asi deset let a podzemní část rostlin obvykle zadržují přeměněný CO<sub>2</sub> mnohem déle, představuje pěstování energetické fytomasy významné vázání (sekvestraci) oxidu uhličitého z atmosféry.

V České republice je vlivem místních podmínek relativně nízký využitelný potenciál energie větru (15 PJ/rok) i nových vodních elektráren (2 PJ/rok). Slibný může být potenciál sluneční energie, pokud ji dokážeme využívat s vyšší účinností (asi 100 PJ), případně geotermální energie. Oproti tomu je využitelný potenciál v energeticky využitelné biomase podstatně vyšší (280 PJ) a představuje tak více než 80% v současnosti dostupného potenciálu všech obnovitelných energií. Nejvyšší položka využitelného potenciálu biomasy v České republice je biomasa získaná pěstováním energetických rostlin na půdě nepotřebné pro produkci potravin a na půdách antropogenních. Zatím je využitelný potenciál vztahován k 45 % rozlohy nepotřebných ploch, což představuje zhruba 450 000 ha (**Petříková et al. 2006**).

Biomasa hraje ve struktuře užití OZE v ČR dominantní roli, tvoří cca 65 %. Biomasa je užívána především v podobě palivového dříví, dřevního odpadu z pil, papírenského průmyslu a průmyslu zpracování dřeva. Méně se pak využívají ostatní formy, především tzv. zbytkové biomasy jako jsou sláma nebo fytomasa jednoletých a víceletých energetických bylin (**Havličková 2007**).

Hlavní současnou nevýhodou energetického využití biomasy je její obecně nedostatečná ekonomická konkurenční schopnost vůči fosilním palivům. Energie z biomasy zatím úspěšně konkuruje jen v místních výtopnách, kde se spalují dřevní zbytky nebo u systémů založených na spalování slámy jako vedlejšího výrobku. Pěstování energetických rostlin, jejich sklizeň a příprava fytopaliva představuje již provozně a investičně náročný řetězec operací a jednotkové náklady jsou ovlivněné výnosem, který v jednotlivých letech může kolísat. Zatím nejrozšířenější způsobem energetického využití biomasy je její spalování v kotlích vyrábějících teplou vodu nebo páru. Daleko dokonalejší využití potenciálu biomasy je transformace hořlaviny do plynné podoby a následné vyžití plynu v kogeneračních jednotkách, ať již jde o technologie anaerobní digesce nebo o pyrolýzní technologie, realizované ve zplyňovacích generátorech. Lze očekávat, že energetické využití biomasy bude spojeno s decentralizovanými zdroji elektrického proudu, zabezpečujícími vyšší energetickou bezpečnost při haváriích centrálního systému. Další uplatnění biomasy jsou motorová paliva užívaná v dopravě a k provozu pracovních agregátů. Nejde

pouze o klasický metylester řepkového oleje (bionaftu), ale i o bioetanol, biometanol a biovodík, případně zkapalněný bioplyn. Využití biomasy k výrobě motorových biopaliv nám zajistí trvale udržitelnou dopravu i po vyčerpání fosilních zdrojů motorových biopaliv (**Petříková et al. 2006**).

V současnosti leží v ČR ladem asi 0,5 mil. ha půdy a očekává se, že z hlediska produkce potravin nebude možné dlouhodobě využívat více než 1 mil. ha. Z hlediska udržitelného rozvoje je však nezbytně nutné s touto půdou nadále dobře hospodařit. Jednou z významných možností je pěstování energetických plodin, přičemž pro naplnění cíle roku 2010 by stačilo využít asi polovinu uvedené výměry, tj. asi 250 tis. ha. V horizontu 30 let lze využít až 1,5 mil. ha, tj. asi 35 % výměry zemědělské půdy v ČR, v souladu s osevními postupy (**Sladký, Šafařík 2006**).

Pro výrobu energie může být použito několik procesů. Většina elektřiny pocházející z biomasy se vyrábí prostřednictvím recirkulace páry: biomasa je spalována a prostřednictvím výměníku tepla generuje vysokotlakou páru, která pohání lopatky turbíny přenášející otáčky na generátor elektrické energie. Biomasa může být též spalována s uhlím v konvenčních elektrárnách. Výše uvedený proces je ekonomicky nejefektivnější způsob začlenění obnovitelných zdrojů do konvenční energetiky, protože infrastruktura většiny současných tepláren a elektráren může být využita bez velkých úprav (**Anonym 2008**).

Tabulka 1: Spotřeba primárních zdrojů energie v ČR (**Pastorek 2001**)

Druh zdroje energie	%	PJ
hnědé uhlí	53,0	958,19
černé uhlí	11,5	207,91
Ropa	14,5	262,15
elektrická energie z vodních elektráren	0,5	9,04
zemní plyn	13,0	235,03
elektrická energie z jaderných elektráren	7,5	135,59
<b>Celkem</b>	<b>100,0</b>	<b>1807,91</b>

Tabulka 2: Energetický potenciál obnovitelných zdrojů energie v ČR (**Pastorek 2001**)

Druh obnovitelného zdroje energie	Kt OE/rok	PJ/rok
sluneční energie	56	2,35
větrná energie	25	1,05
biomasa	3100	130,00
geotermální energie	1400	59,00
malé vodní elektrárny	12200	511,00
<b>Celkem</b>	<b>16781</b>	<b>703,40</b>

Při pohledu na stávající strukturu plodin a dosaženou produkci je zřejmé, že zvláště v marginálních oblastech dojde k redukci osevních ploch, zejména u potravinářské pšenice a dalších potravinářských obilovin. Volná půda bude jednak obsazena plodinami, po kterých je na trhu stále poptávka a jednak se stává potencionální plochou pro pěstování energetických plodin (**Moudrý, Stražil 1998**).

## 2.1 Přínosy a překážky při pěstování rostlin pro nepotravinářskou produkci:

Globální přínosy:

- využití přírodních zdrojů a vegetačních faktorů, tj. především půdy, tepla, vody a živin k produkci rostlinné biomasy,
- zachování celoplošného zemědělství, a to nejen pro udržení úrodnosti půdního fondu, ale i pro zajištění jeho produkční funkce včetně udržení pracovních míst na venkově,
- stabilizace krajinného prostoru s příznivými ekologickými dopady do ekosystémů a četnými kladnými celospolečenskými dopady (nejen rekreace a relaxace, ale i umožňování řady různých dalších podnikatelských aktivit).

Lokální přínosy:

- podle stanovištních podmínek a potřeb daného regionu poskytovat řadu rostlinných surovin a biopaliv pro místní zpracovatelské podniky a komunální sféru,
- vybudování nových zpracovatelských kapacit především v regionech s vysokou nezaměstnaností.

Překážky:

- celková nepřipravenost národního hospodářství na využívání obnovitelných zdrojů, a to jak ve výrobní a zpracovatelské sféře, tak i v nedostatku podnikatelských záměrů včetně větší propagace, osvěty a legislativy.
- chybí razantnější prosazování větší finanční podpory (levné úvěry, státní dotace aj.) výrobců i zpracovatelů nepotravinářské produkce včetně využívání průmyslových a energetických rostlin jako surovin a biopaliv.
- není zajištěna koordinace celé problematiky v ČR (zřízení koordinačního centra pro pěstování a zpracování průmyslových a energetických rostlin), které by řídilo a usměrňovalo veškeré aktivity na tomto velmi širokém úseku (**Šimon, Stražil 2000**).

## 2.2 Výhody a nevýhody využití biomasy k energetickým účelům

Výhody:

- menší negativní dopady na životní prostředí (lepší bilance tvorby skleníkových plynů i dalších emisí, příznivý vliv na hospodaření v krajině atd.),
- biomasa jako zdroj energie má obnovitelný charakter,
- zdroje biomasy nejsou lokálně omezeny (jen velmi vysokou nadmořskou výškou),
- řízená produkce biomasy přispívá k vytváření krajiny a péči o ni;
- účelně se využijí spalitelné, někdy i toxické odpady a významně se zmenší prostor pro skladování popelovin a nespalitelných zbytků;
- biomasa jako domácí zdroj energie příznivě ovlivňuje zahraniční platební bilanci státu, umožňuje diverzifikovat činnosti regionálních podniků, využít nadbytečnou zemědělskou půdu k nepotravinářským účelům, snížit náklady na provoz venkovských domácností, zvýšit zaměstnanost venkovského obyvatelstva při podnikatelském způsobu výroby energie z biomasy,
- decentralizace výroby energie omezuje monopolní postavení velkovýrobců a distributorů, je-li vhodně upraveno legislativní prostředí (**Pastorek 2001**).

Nevýhody:

- záměrná produkce biomasy na orné půdě pro energetické účely konkuruje dalším způsobům využití biomasy (např. k potravinářským a krmivářským účelům, k zajištění surovin pro průmyslové účely apod.),
- zajištění dostatečného množství energetické biomasy vyžaduje rozšiřovat produkční plochy nebo zvyšovat intenzitu výroby biomasy, což s sebou nese potřebu zvyšovat kapitálové vklady do výroby a zpracování energetické biomasy,
- získávání energie z biomasy v současných světových ekonomických podmínkách s obtížemi cenově konkuruje energii z klasických primárních zdrojů. Tato skutečnost může být eliminována dotační a úvěrovou politikou státních a bankovních institucí, výhledově také tlakem „ekologické“ legislativy,
- maximální využití zdrojů biomasy k energetickým účelům z celosvětového hlediska je problematické vzhledem k rozmístění zdrojů biomasy a energetických spotřebičů i vzhledem k obtížím s akumulací, transportem a distribucí získané energie (**Pastorek 2001**).

### 3. Způsoby získávání energie z biomasy

Energie získaná z biomasy různými úpravami se vyskytuje ve formě pevné, kapalné nebo plynné a může být dále přeměněna na teplo, elektřinu nebo pohonné hmoty. Způsob využití rostlinné hmoty závisí na množství látek, na jejich skladovatelnosti, obsahu vody struktuře a složení. Hodnota 50 % sušiny je přibližná hranice mezi mokrymi a suchými procesy. Látky s vysokým obsahem vody je nejlépe zpracovávat kvašením, látky s nízkým obsahem se hodí pro spalování nebo suchou destilaci (**Moudrý, Stražil 1998**).

Způsoby získávání energie z biomasy:

-Termochemická přeměna biomasy

- zplyňování
- spalování
- pyrolýza

-biochemická přeměna biomasy

- metanové kvašení
- alkoholové kvašení

-chemická přeměna biomasy

- esterifikace

-získávání odpadního tepla při zpracování biomasy (kompostování, ČOV...)  
(**Moudrý, Stražil 1998**).

### 4. Pěstování kukuřice (*Zea Mays*)

Kukuřice je nejvýznamnější jednoletá píce. Poskytuje vysokou produkci sušiny a energetických živin z jednotky plochy. Z 1 ha dává 6–9 tisíc škrobových jednotek. K úspěšnému rozšíření ploch kukuřice přispěla vedle chemizace a mechanizace i tvorba vysoce výkonného biologického materiálu. To umožnilo její rozšíření i do oblastí, kde se dříve nepěstovala. Cennou vlastností kukuřice je snadná silážovatelnost hmoty. Zvýšené požadavky skotu na silážní kukuřici byly a jsou kryty vesměs extenzivní cestou, tj. zvyšováním ploch, což je spjato s řadou

negativních jevů. Kukuřici jako vysoce výkonnou pícninu je nutno pěstovat na menších plochách, ale intenzivně. Vedle vysokých výnosů je třeba dosahovat výborné kvality, jejímž hlavním ukazatelem je podíl palic na celkové hmotě a stupeň zralosti (Vrzal et al. 1995).

Z botanického hlediska je rostlinou jednodomou, ale různopohlavnou (zvláště samčí a samičí květenství). Samčí květenství tvoří latu dvoukvětých klásků na vrcholu rostliny, samičí květenství je klas (palice) se zdužnatělým větvením, na kterém jsou rovněž dvoukvěté klásky. U nich je však pouze jeden kvítek plodný. Zrna na palici tvoří řady. Samičí květenství je obaleno listeny. Kukuřice je rostlina cizosprašná, přičemž samčí květy kvetou na téže rostlině o 1 – 10 dnů dříve než květy samičí. Rostlina se tak brání samoopylení. Stéblo je vzpřímené, vyplněné dřevem, vysoké od 1 do 6 m, v našich podmínkách většinou 1,5 až 2,5 m. U kolénka vyrůstá list. Počet listů bývá na rostlině 10 – 16. Plodem je, stejně jako u první skupiny obilnin, obilka, která je však mnohem větší. HTZ se může pohybovat ve velkém rozpětí (50 až 800 g), většinou kolem 300 g (Moudrý, Jůza 1998).

#### 4.1 Požadavky kukuřice na klimatické a půdní podmínky

Kukuřice je teplomilná rostlina. Vyšlechtěné hybridy začínají klíčit, když teplota půdy dosahuje 7 – 8 °C. Optimální teplota pro klíčení je 25 – 28 °C a pro kvetení 28 – 30 °C. Nízké teploty -1 až -2 °C trvající déle než 3 – 4 hodiny spálí listy, popřípadě ničí celé rostliny. Nižší teploty na hranici 10 °C trvající déle kukuřici škodí. Rostliny zastavují růst, listy žloutnou a rostliny jsou náchylné k chorobám. Teplotní optimum pro tvorbu vegetativních orgánů je kolem 20 °C. Pro dosažení vysokého výnosu hmoty mají největší význam teploty koncem června, v červenci a začátkem srpna. Pro nasazení dostatečného počtu palic jejich vývin jsou důležité teploty v srpnu a počátkem září. Nároky na celkovou sumu teplot jsou dané raností hybridu a pohybují se v rozmezí 1 700 – 3 200 °C. Transpirační koeficient kukuřice je nízký: 240 – 370. Avšak k vysoké produkci celkové hmoty potřebuje kukuřice dostatek vody, zejména v období mezi metáním a mléčnou zralostí, tj. v období intenzivního růstu. Krátké přisušky překonává velmi dobře díky bohatě rozvinutému kořenovému systému a dobrému hospodaření s vláhou. Na sucho je kukuřice velmi citlivá v době květu blizen, kdy dochází k jejich zasychání. Nároky na půdu má kukuřice na siláž mnohem menší než na teploty. Nevhodné jsou pro ni jen těžké a chladné půdy, neboť neumožňují včasné setí. V bramborářském a chladném řepářském typu je třeba pro ni vybírat půdy výhřevné, hlinité a hluboké, s dostatečnou zásobou humusu a živin. Lehké půdy jsou vhodné pouze při zvýšeném hnojení a ve vlhčích oblastech. Expozici volíme jižní nebo k této světové straně přilehlé. Nevhodné jsou pozemky erozně ohrožené a dále v mrazových kotlinách (Vrzal et al. 1995).

#### 4.2 Zařazení do osevního postupu

Kukuřice není plodinou, která by vyžadovala speciální předplodinu. Nejvhodnější předplodinou pro kukuřici je jetelovina či víceletá pícnina, ta zejména ve vláhově příznivých podmínkách. Po ní zůstává v půdě značné množství dusíku, který se pozvolna uvolňuje z organických vazeb v průběhu vegetace. Výbornou předplodinou je také animálně hnojená okopanina. Kukuřici je možno s úspěchem pěstovat i několik let po sobě (Vrzal et al. 1995).

### 4.3 Příprava půdy

Kukuřice je na přípravu půdy velmi náročná. Aby se mohl plně rozvinout její mohutný kořenový systém, a tím vytvořit příznivé podmínky pro příjem vody živin, vyžaduje kukuřice půdy hluboko zpracované. Je proto vhodné provést na podzim podryvání. Jeho cílem je zlepšit biologickou aktivitu půdy, zmenšit utužení, zlepšit hospodaření s půdní vláhou. Podryvání se zpravidla dělá na hloubku 45 – 50 cm (pokud to umožňuje hloubka ornice) a je možno ho spojit se základním hnojením. Podryvání se provádí zpravidla jednou za 4 – 5 let. Bez podryvání je vhodné zařazení podmínky, která má plevelohubný účinek a šetří vláhu. Odstup mezi podmínkou a následnou orbou by měl být minimálně čtrnáct dní. Další opatřením je střední (20 – 25 cm střední a lehčí půdy) nebo hluboká orba (30 – 35 těžší půdy). Na jaře po oschnutí brázd půdu usmykujeme a vláčením ji udržujeme v kyprém stavu až do zasetí. Tímto zásahem se zvyšuje prohřátí půdy a šetří se zimní vláha. Před setím aplikujeme buď celou dávku nebo 2/3 dávky dusíkatých hnojiv a půdu kypříme do hloubky výsevu, tj. 5 – 6 cm. V této době se rovněž dělá chemická ochrana. Příprava osivového lůžka má za cíl zajistit co nejrychlejší prohřátí půdy. Na provozních plochách se kukuřice pěstuje zpravidla v řádcích s roztečí 50 – 70 cm, šířka řádku je většinou určena mechanizací, kterou budeme používat při pěstování. Kořenové soustavě vyhovuje úživná plocha blízká se čtverci. Naproti tomu nadzemní část rostliny vyžaduje širší řádky s ohledem na lepší prostupnost a tedy využití sluneční energie celým porostem (Vrzal et al. 1995).

### 4.4 Setí

Setí je u kukuřice velmi důležitou operací, protože porost kukuřice nemá např. od pšenice možnost eliminovat chyby v setí. Seje se stroji na přesný výsev. Vzdálenost řádků pro kukuřici na siláž by měla být 50 cm, vzdálenost rostlin v řádku by neměla klesnout pod 16 cm. Hloubka výsevu podle použitého hybridu a půdy je 60 – 90 mm. Mělkěji vyséváme zejména na těžších, vlhčích a chladnějších půdách. U hustých a přehnojených porostů klesá počet palic a tím i výnos, resp. kvalita siláže. Oddaluje se dosažení požadované zralosti a výrazně se snižuje procento sušiny. Pro termín setí je rozhodující využití zimní vláhly a zvýšení jistoty dozrání na straně jedné a minimální teplota na straně druhé. Termín setí by měl být určen tak, aby doba mezi setím a vzejitím porostu nebyla delší než 12 dnů. V našich podmínkách by mělo být seto koncem dubna s ukončením nejpozději do 10., popř. 15. května. Hloubka setí se pohybuje od 5 cm (drobnější zrno, tj. HTS cca 250 kg, těžká půda dostatek vláhly) do 9 cm (Vrzal et al. 1995).

### 4.5 Hnojení

Kukuřice příznivě reaguje na živiny v tzv. „staré půdní síle“, což znamená, že je výhodné intenzivněji hnojit předplodinu. Kukuřice je pak schopná v následujícím roce využít tyto živiny, a to i z hlubších půdních horizontů. Naopak na přímé hnojení nereaguje porost příliš výrazně. Při hnojení vycházíme z předpokladu, že 1 t zrna odčerpá z půdy průměrně 25 kg N, 3,5 kg P, 16 kg K. Orientační čísla pro hnojení N, P, K na 1 ha: 100 – 150 kg N, 50 – 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 900 – 100 kg K<sub>2</sub>O. Konkrétní čísla jsou závislá zejména na ekonomických ukazatelích a způsobu výroby. Dusíkem hnojíme jednorázově jen vyjimečně na podzim (na sušších stanovištích) nebo spíše před setím s následným zapravením alespoň

na hloubku setí. Přihnojuje se zpravidla hnojivo na bázi ledku. Aplikovat bychom měli pod list, neboť nesmí dojít k přílišnému poškození listové plochy pálením. Kapalná hnojiva se nesmí ředit vodou, jinak je nebezpečí nekróz na listech. Jejich použití je ovšem žádoucí (např. přihnojování 10% roztokem močoviny na list, nedochází k pálení). Při dělené dávce je rovněž možno snížit dávku hnojiva o cca 10 – 20 %. Hnojit P a K lze jak na podzim, tak na jaře před setí či zásobně. Zpravidla se hnojí na podzim, nebezpečí vyplavení je relativně malé. Jako organické hnojivo se často aplikuje kejda, kterou by se mělo hnojit na jaře po setí či vzejití. Hnůj aplikujeme raději k předplodině, neboť může vznikat negativní výnosová reakce zejména na půdách se zhoršenou biologickou aktivitou nebo malou zásobou vláhy. Limitujícím prvkem z hlediska výživy může být hořčík, který se dodává zpravidla jednou za pět let. Obsah vápníku je většinou upravován podle půdních podmínek, tj. podle úpravy pH.

Pro dosažení výnosu sušiny 10 – 12 t/ha a při minimálním podílu palic 40 % je nutno pozemek dobře zásobit všemi živinami. Na vyprodukování uvedeného množství hmoty je zapotřebí kukuřici dodat 120 – 180 kg N, 30 – 45 kg P a 80 – 160. Vyšší dávky hnojiv používáme v bramborařském výrobním typu a na půdách s nižší zásobou živin. Živiny dodané ve statkových hnojivech se uvolňují postupně v průběhu vegetace podle potřeby rostlin. Tuhá statková hnojiva aplikujeme na podzim, tekutá v předjaří. Nedostatek fosforu a draslíku snižuje odolnost rostlin proti chladu, chorobám, suchu a poléhání. Dusík v průmyslovém hnojivu je vhodné aplikovat děleně, a to 2/3 dávky před setím a 1/3 dávky ve fázi 5 – 6 listů. Kukuřice má největší požadavky na dusík v období intenzivního růstu a tvorby palic, tj. přibližně po 60 dnech od zasetí (Vrzal et al. 1995).

#### 4.6 Ošetření porostu v průběhu vegetace

Kukuřice roste v počátečním vývinu velmi pomalu a to bývá příležitost pro rychlý růst plevelů. Kultivační opatření v počátečních fázích růstu musí směřovat jednoznačně k potlačení plevelů. Děje se tak cestou mechanického nebo chemického ošetření. Prvním zásahem po zasetí kukuřice bývá válení. Na těžších půdách se válením zvyšuje riziko vytváření půdního škraloupu. Na svažitých pozemcích podporuje válení plošnou erozi spojenou se splavováním herbicidů a živin. Vláčením před a po vzejití se velmi účinně ničí vzcházející plevele. Používáme lehké brány a vláčíme kolmo na řádky. Vláčet však nemáme v době vzcházení kukuřice. Porost je třeba vláčet za teplejšího a slunného počasí, kdy jsou rostliny částečně zavadlé a méně se poškozují. Vláčením porostu kukuřice snížíme počet rostlin o 10 %. Vzhledem k zapojení porostu se v období od vzejití do fáze 4. listu nedoporučuje žádným způsobem mechanicky kultivovat. Příznivě působí na růst rostlin plečkování, zejména na ulehých a těžkých půdách. Musí být mělké, maximálně na hloubku výsevu. V případě druhého plečkování je nutno ponechat širší ochranné pásy kolem řádků. Vláčením a plečkováním ničíme vzcházející plevele, a tím snižujeme dávku herbicidů a účinky reziduí na životní prostředí. Prokypřování dále zlepšuje předplodinu hodnotu kukuřice. Jako efektivní a zároveň ekologické se jeví využití kombinovaného způsobu ochrany proti plevelům. To znamená pásovou aplikaci herbicidu v řádcích kukuřice a meziřádkovou kultivaci. Chemická ochrana je komplexem opatření, která začínají na podzim (např. proti pýru) a pokračují v jarním a letním období. Po zapojení porostu kukuřice mizí nebezpečí zvýšené konkurence ze strany plevelů. Ochrana proti škůdcům spočívá především ve šlechtění na rezistenci a moření (Vrzal et al. 1995).

#### 4.7 Sklizeň kukuřice na siláž

Nejvhodnější termín sklizně kukuřice na siláž je v mléčné zralosti. Kukuřice poskytuje v této fázi vysoký výnos sušiny s podílem palic 45 – 55 %. Vysoký podíl palic je podmínkou pro získání kvalitní siláže. Zároveň dává předpoklady pro dosažení sušiny v době sklizně v rozmezí 25 – 30 %. Při sušině pod 25 % dochází k silnému odtoku silážních šťáv a k velkým ztrátám živin. Sklizeň kukuřice by měla být dokončena do příchodu prvních mrazíků. Již při teplotě -1 až -2 °C, trvá-li 3 – 4 hodiny, dochází ke spálení listů, ztrátě karotenu a ztrátě vody. Zmrzlá kukuřice se musí sklídit nejpozději do 3 dnů. Jinak jsou odumřelé rostliny napadány plísněmi a hnilobnými bakteriemi (Vrzal et al. 1995).

#### 4.8 Možnost pěstování kukuřice s podsevem

V roce 2004 byla sledována dynamika nárůstu nadzemní biomasy, množství energie spalného tepla a celková produkce energie podešvových meziplodin v kukuřici. Byly sledovány následující varianty: 1. *Trifolium repens* L., 2. *Lolium perenne* L., *Lolium multiflorum* Lamk., 4. kontrolní varianta. Pěstování podsevových meziplodin nevedlo ke statisticky průkaznému snížení výnosů kukuřice ve srovnání s kontrolní variantou. Časné založení porostu *L. perenne* přispělo k průkazně vyšší produkci nadzemní biomasy ve srovnání s ostatními variantami. Množství spalného tepla podsevových meziplodin v sušině bylo v rozmezí od 17,75 do 18,37 MJ/kg. Byl zaznamenán statisticky průkazný rozdíl mezi sledovanými druhy. Celková produkce energie podsevových meziplodin závisí především na celkovém výnosu biomasy. Sledovaný projekt prokázal důležitost výběru vhodné podsevové meziplodiny a jejího optimálního termínu setí.

Jako podsevovou meziplodinu ke kukuřici je třeba zvolit druhy rostlin s pomalým růstem a tolerancí k zastínění (*Dactylis glomerata* L., *Poa trivialis* L.). Na druhou stranu rychle rostoucí druhy rostlin (*Lolium perenne* L., *Lolium multiflorum* Lamk.) jsou mnohem efektivnější v potlačování půdní eroze. *Trifolium repens* L., *Trifolium pratense* L., *Medicago lupulina* L., *Trifolium subterraneum* L. jsou doporučovány jako nejlepší leguminózní podsevové rostliny pro kukuřici. Pokud je kukuřice pěstována i následujícím roce, je vhodné použít jetelotravní směsku. Růst *L. perenne* významně snížil výnos silážní kukuřice v porovnání s *T. repens*. Statisticky průkazné nejvyšší množství energie bylo dosaženo u *L. perenne*. Celková produkce energie *T. repens* a *L. multiflorum* nevykazovala prokazatelné rozdíly. Včasné setí *L. perenne* přispělo k vyšší produkci nadzemní biomasy v porovnání s ostatními podsevovými plodinami (Fuksa, et al. 2005).

### 5. Využití kukuřice k výrobě tepla

Pro získání energie z rostlinné biomasy přicházejí v úvahu rychle rostoucí druhy stromů, výkonné druhy obilnin – ozimá pšenice, ozimý ječmen, tritikale, kukuřice a některé druhy čiroku. Pěstování obilovin k energetickým účelům má oproti jiným plodinám své přednosti v tom, že výsev, ošetřování, hnojení, ochrana a sklizeň je zemědělcům dobře známá. Mohou začít produkovat biomasu pro energetické využití bez větších investic, protože obvykle vlastní potřebnou techniku. Půda zůstává stále k dispozici pro výrobu potravin, pěstování obilí se dá začlenit do zažitých osevních postupů, nevznikají časové prostoje do prvního výnosu a energetická bilance je zřetelně pozitivní (Moudrý, Stražil 1998).



## 5.1 Spalování slámy

Roční vyprodukované množství biomasy ve světě se odhaduje na  $20 \times 10^{11}$  a její energetický potenciál na  $3 \times 10^{21}$  J, což téměř desetkrát převyšuje roční objem světové produkce ropy a plynu. Velice důležité je, že se jedná o zdroj energie trvale se obnovující. Vyprodukované biomasy se však pro energetické účely využívá pouze asi 2 – 3 %. Potřeba slámy pro stelivové se v posledních letech v ČR zmenšila vlivem snížení stavu skotu a přechodem části živočišné výroby na bezstelivové technologie. Pozvolna roste množství slámy využívané k energetickým a průmyslovým účelům. Sláma se používá jako palivo, v menší míře jako izolační anebo stavební materiál (**Havlíčková 2007**).

Sláma je vedle dřevní štěpky jedním z nejčastějších druhů biomasy spalovaných v topeništích. Používá se sláma obilovin, kukuřice, řepky, pícnin pěstovaných na semeno, nekvalitní suché seno. Lisuje se do malých balíků, velkých válcových nebo hranatých balíků, briket nebo pelet. Spotřeba energie na tvarování slámy nepřesahuje 5 % energetického potenciálu slámy.

Při výnosu 2,5 až 5 t sušiny slámy z 1 ha a výhřevnosti 17,6 až 18 MJ/kg, podílu popela 5,3 až 7,1 % s obsahem 80 % prchavých hořlavých látek je sláma významným palivem. Z energetického hlediska přibližně 3 kg slámy nahradí 1 kg LTO (**Pastorek 2001**).

Tabulka 3: Energetická výtěžnost slámy některých plodin (**Šimon, Stražil 2000**)

Plodina	Energetický obsah (MJ/kg)	Energetická výtěžnost (GJ/ha)
sláma obilnin	17,511	78,8
sláma kukuřice	17,294	115,9
sláma řepky	17,484	82,8
sláma slunečnice	16,974	141,1

Při spalování slámy je nutné zohlednit její hnojivou hodnotu. Dle většiny odborníků je možné ročně odebrat z koloběhu živin 25 – 33 % slámy na energetické nebo průmyslové účely (**Moudrý, Stražil 1998**).

## 5.2 Objem produkce obilní slámy v ČR

Při výhřevnosti obilní slámy 14,4 GJ/t s roční produkcí cca 7 717 tis. tun a účinností spalování 80 %, je teoreticky možno z vyprodukované slámy získat 88 746 TJ energie. (teoretický potenciál) V současné době při předpokládaném využití čtvrtiny slámy obilnin a celého objemu řepkové a kukuřičné slámy je v energetice k dispozici přes 3,6 mil. tun slámy (**Havlíčková 2007**).

## 5.3 Úprava slámy před spalováním

Příprava slámy určené ke spalování začíná v podstatě ihned po sklizni plodin. Jedná se především o sklizeň z pole, úpravu a skladování (**Šimon, Stražil 2000**).

Obří balíky se vytvářejí v hranaté nebo válcové formě ze slámy lisované v suchém stavu. Válcové mají hmotnost přibližně 350 kg, objemovou hmotnost 60 – 90 kg/m<sup>3</sup>. Hranaté balíky mohou vážit až 600 kg a jejich objemová hmotnost dosahuje až 160 kg/m<sup>3</sup> (jejich převoz na větší vzdálenosti je ekonomický). Skladování a manipulace s nimi je výhodná, lze ji automatizovat. Balíky se vkládají

do topeniště buď celé (regulace výkonu je omezena) nebo se do topeniště vkládá šnekem nebo pístem sláma pořezaná (regulace tepelného výkonu mnohem přesnější). Jsou vhodné pro velké spotřebitele, jako jsou teplárny, průmyslové podniky nebo jako přírůstek energeticky „povzbuzujícího“ paliva ve spalovnách komunálního odpadu. Peletováním a briketováním se sláma tvaruje do stavu, který je podobný jiným palivům, polínkům, uhlí koks. Topeniště potom mohou být více podobné standardním topeništím (**Havlíčková 2007**).

Topeniště na spalování slámy musí být přizpůsobeno vysoké rychlosti zplynování materiálu, musí zachytit vyšší podíl popela a zamezit usazeninám na roštových a teplosměnných plochách. Až 10 % popela ze slámy ulétává do komína a je třeba zachytit ho v odlučovačích (**Pastorek 2001**).

## 5.4 Spalování celých obilovin

Při přímém tepelném využití obilovin záleží především na výnosu biomasy, méně na kvalitě. Přestože by měla být zachována určitá úroveň výnosu, nemusí se uskutečnit produkční a kvalitativní přihnojení a ušetří se také na ochraně rostlin (**Moudrý, Stražil 1998**).

# 6. Využití kukuřice k výrobě elektřiny a tepla

## 6.1 Bioplynová stanice

Bioplynová stanice je zařízení, které umožňuje v jednom místě nakládat se zemědělskými zbytky a navíc vyrábět snadno využitelnou energii – elektřinu ve spalovacím motoru. Kromě zemědělských zbytkových produktů tradičně využívaných pro výrobu bioplynu (hnoje, kejdy, trusu apod.) je stále zajímavější uvažovat o kofermentaci s jinými materiály, zejména kuchyňskými a jatečními odpady, trávou, resp. Senází, siláží a vhodnými energetickými plodinami. Obzvláště správně zvolené plodiny mohou sehrát významnou roli v šíření výroby bioplynu, zejména ke stabilizaci celého procesu výroby a navýšení celkové produkce (**Sladký, Šafařík 2006**).

Základní části bioplynových stanic s mokřým procesem:

- přípravná část,
- fermentor,
- skladování bioplynu,
- úprava a využití vyhnílého kalu,
- využití bioplynu,
- zabezpečovací a řídicí systém.

(**Pastorek, Wolf 1993**)

Do roku 2004 u nás tento obor zcela stagnoval. Oživení nastalo díky přijetí zákona č. 180/2005 Sb., o odpadech, a zvýšení výkupní ceny za elektřinu vyrobenou z bioplynu. V průběhu roku 2006 bylo zprovozněno celkem 6 nových bioplynových stanic, takže na konci minulého roku bylo na našem území v provozu 18 zařízení. Odhady CZ Biom – Českého sdružení pro biomasu ukazují, že pokud se podaří nastavit skutečně vhodné podmínky pro rozvoj oboru, v roce 2010 může celkový instalovaný elektrický výkon v bioplynových stanicích činit 90 MWel. Protože výhodou těchto zařízení je vysoká energetická účinnost s roční dobou využití

standardně 8 000 hod., předpokládaná výroba elektrické energie by mohla v roce 2010 dosáhnout až 720 GWh. Toto množství by mohlo pokrýt spotřebu elektřiny pro zhruba půl milionu obyvatel, tedy zhruba 200 000 domácností (spotřeba elektrické energie na obyvatele v r. 2004 činila 1 423,1 kWh). Do roku 2015 by pak počet zařízení a výroba elektrické energie mohly vzrůst ještě na dvojnásobek. CZ Biom odhaduje reálný potenciál počtu bioplynových stanic v ČR na 400 zařízení do roku 2015. Významné přínosy bioplynových stanic názorně dokládá vývoj u našich sousedů v Německu, kde již několik let probíhá bioplynový boom (**Biom.cz 2007**).

### 6.1.1 Vývoj v Německu

Přínosy BPS názorně dokládá vývoj v Německu. Díky vhodně nastavenému systému podpor dosáhl obor bioplynu v roce 2006 zatím největšího rozvoje, když bylo nově zprovozněno cca 700 zařízení s celkovým instalovaným výkonem 550 MWel. Celkový počet BPS v roce 2006 je v Německu odhadován na 3 500 zařízení. Jejich souhrnný instalovaný elektrický výkon dosáhl již 1 100 MWel s produkcí více než 5 TWh elektřiny. Po uvedení zařízení z roku 2006 do plného výkonu a s novými instalacemi byla celková produkce pro rok 2007 prognózována na více než 10 TWh. Skutečnost bude zřejmě jiná vzhledem k aktuálnímu vývoji v zemědělství a vzhledem k výraznému růstu cen zemědělských komodit. Zajímavou ukázkou efektivity výroby elektřiny v BPS je předpoklad publikovaný v Německu, že nově instalovaný výkon 550 MWel v bioplynu zajistí díky několikanásobně stabilnější produkci energie srovnatelnou výrobu elektřiny, jakou poskytne 2 280 MWel nově instalovaných ve větrných elektrárnách v roce 2006. Bioplyn stále více ukazuje svůj rostoucí význam v energetickém hospodářství a v budoucím „energetickém mixu“.

Další zajímavou „bioplynovou“ zemí je např. Rakousko. V letech 2001 – 2005 zde došlo k razantnímu rozvoji BPS, když jejich počet vzrostl na 300 zařízení na konci roku 2005 a instalovaný elektrický výkon dosáhl 80 MWel. Roční produkce elektrické energie dosáhla 570 GWh, což je množství, které odpovídá celoroční spotřebě 160 000 domácností (**Bačík 2008**).

### 6.1.2 Situace v ČR

Rozvoj bioplynových stanic v České republice je žádoucí s ohledem na závazek ČR dosáhnout do r. 2010 podíl 3,6 % obnovitelných energií z celkové energetické spotřeby (energie z biomasy by v r. 2010 představovala 51 PJ . r<sup>-1</sup>) plnění úkolů z implementace směrnice Rady EU 91/676/EEC (Nitrátová směrnice) plnění úkolů z implementace směrnic Rady EU 1999/31/EEC, podle které je nezbytné do r. 2010 snížit množství biologicky odbouratelného odpadu na skládkách na 25 % hmotnosti r. 1995 (**Váňa 2001**).

Bioplynové stanice jsou nyní v České republice jednou z nejrychleji se rozvíjejících technologií, se kterými postupně přejde hlavní podíl investic a výkonů v energetice z rukou strojních a těžařských profesí do rukou stavařů a zemědělců. A pokud nedojde k novým převratným objevům, které by lidem na Zemi umožnily podstatné snížení spotřeby energie anebo získávání velkého množství energie jiným ekologicky šetrným způsobem, bude i v dlouhodobé budoucnosti vedle fotovoltaiky a vedle vodní a větrné energie, využití biomasy, včetně bioplynových stanic, nejdůležitějším zdrojem výroby elektřiny. Bioplynové stanice by mohly být v ČR využity i k pokrývání velké části denních špiček spotřeby elektřiny v elektrizační

soustavě. V české elektrizační soustavě je v pracovních dnech střední denní spotřeba elektřiny až o 2 000 MW vyšší než střední spotřeba elektřiny v noci. A rozdíl mezi maximální denní spotřebou elektřiny a minimální noční spotřebou je až 3 000 MW. V nepracovních dnech je rozdíl mezi spotřebou elektřiny ve dne a v noci podobný, o málo menší. Spotřeba elektřiny v pracovních dnech začíná stoupat před 6. hodinou ráno, asi v 8 hodin dosahuje průměrné denní vysoké úrovně a na ní se vysoká spotřeba elektřiny s kolísáním o několik set MW udržuje až asi do 20 až 21 hodin. Pak postupně klesá a asi ve 23 hodin dosahuje průměrné noční nízké úrovně. Spotřeba elektřiny v české elektrizační soustavě je tak během 24 hodin přibližně 7 hodin na nízkém nočním minimu, 12 až 13 hodin na vysokém denním maximu, ráno po šesté hodině asi 2 hodiny postupně roste na svojí vysokou denní úroveň, a večer po dvacáté hodině 3 hodiny klesá na noční minimum. Po celý den a noc přitom spotřeba elektřiny kolem své denní i noční průměrné úrovně kolísá během několika minut až o stovky megawatt.

Zvýšenou denní spotřebu elektřiny v soustavě je nutné pokrývat zvýšením výkonu těch zdrojů elektřiny, které jsou každodenního zvýšení výkonu na den a snížení výkonu na noc technicky schopny a není to pro ně příliš neekonomické. V české elektrizační soustavě jsou to především uhelné parní elektrárny a teplárny, doplněné některými vodními elektrárnami. Zvýšenou denní spotřebu elektřiny by mohly pokrývat např. i špičkovací plynové parní a paroplynové elektrárny nebo teplárny, které se mohou každý den ráno najíždět a večer odstavovat. Takové elektrárny ale v české elektrizační soustavě nejsou. A protože obecně platí, že při sníženém výkonu energetická zařízení pracují s podstatně nižší účinností než je optimální, znamená nutnost každodenního snižování výkonu v noční době pro uhelné elektrárny v české elektrizační soustavě další pokles jejich už tak nízké účinnosti. S tím je spojena jejich větší spotřeba uhlí, větší emise, nižší hospodárnost provozu, atd. V současné době je celkový elektrický výkon kogeneračních jednotek bioplynových stanic v ČR zanedbatelný, celkem jen několik MW. Ale v budoucnosti se rychle zvýší, v roce 2010 může být celkem až 200 MW a v roce 2020 pak 1 500 až 2 000 MW. Tento odhad budoucího celkového elektrického výkonu kogeneračních jednotek bioplynových stanic v ČR vychází ze současného stavu v sousedním, cca 5 x větším Německu, kde je nyní celkový instalovaný elektrický výkon bioplynových stanic cca 1 100 MW, a podle německých prognóz a záměrů to má být v roce 2020 až 9 500 MW elektrického výkonu, a k tomu navíc by mělo být až 30 % spotřeby plynu v Německu pokryto bioplymem a jen zbytek zemním plynem.

Za téměř jistého předpokladu, že se na svého západního souseda v poměru velikosti území, v počtu a v celkovém elektrickém výkonu bioplynových stanic postupně dotáhneme, znamená to v příštích několika letech v ČR výstavbu několika stovek bioplynových stanic s celkovým elektrickým výkonem výše uvedených cca 200 MW, a do roku 2020 výstavbu stanic s celkovým elektrickým výkonem cca 1 500 až 2 000 MW.

U bioplynových stanic je dosud obvyklé, že se jejich kogenerační jednotky navrhují na časové využití svého maximálního trvalého výkonu cca 8 000 hodin za rok, tedy průměrně asi 22 hodin denně. A praxe v provozu je taková, že kogenerační jednotky bioplynových stanic jsou provozovány pokud možno nepřetržitě na takový výkon, jaký je dán okamžitou výrobou bioplynu, a odstavují se jen v případě nutnosti z důvodů pravidelného plánovaného servisu a nebo při poruše. Toto obvyklé dimenzování a provozování kogeneračních jednotek bioplynových stanic, a jejich většinou trvalý provoz na sníženém výkonu, byly z technických důvodů plně oprávněny v době, kdy technologie bioplynových stanic, a i technologie

kogeneračních jednotek, nebyla tak provozně spolehlivá a pružná jako je dnes, a byla poměrně drahá. A řídicí technika navíc v minulosti žádné složitější automatické a nebo dálkově řízené změny okamžitého elektrického výkonu u velkého počtu zařízení, rozptýlených v okruhu stovek kilometrů, neumožňovala. V té době bylo namísto udržovat celé zařízení bioplynové stanice pokud možno trvale v provozu a nevystavovat se riziku potíží při každodenním odstavování a startování jednotky. A tento stav se stále většinou udržuje, i když podle kusých zpráv některé bioplynové stanice např. v Rakousku už před léty začaly ve spolupráci s regionálními distributory elektřiny provozovat svoje kogenerační jednotky především v době špičky ve spotřebě elektrické energie tak, jak je to v dalším textu popsáno. Hlavním motivem k masovému přechodu bioplynových stanic na poměrně snadnou výrobu pološpičkovací elektrické energie bude i v ČR jistě až standardně vyplácená vyšší výkupní cena za špičkovací elektřinu z bioplynových stanic, podobně jako je tomu již dnes u elektrické energie z kogeneračních jednotek na zemní plyn i jiná paliva.

Dobrym důvodem pro takovou změnu je nyní rostoucí tlak na ekologickou dimenzi elektroenergetiky jako celku. Namísto velkých elektráren na fosilní paliva, které jsou v současné době v elektroenergetice hlavními zdroji pokrytí zvýšené denní spotřeby elektřiny, a které spalují fosilní paliva s účinností od 25 % do nejvýše 60 % (vysokých účinností dosahují jen tzv. paroplynové elektrárny, uhelné elektrárny mají v reálném provozu účinnost tak 30 až 35 %), mohou zvýšenou spotřebu elektřiny v denních hodinách pokrývat z velké části i kogenerační jednotky bioplynových stanic (**Bláha 2007**).

Další budování zemědělských bioplynových stanic v České republice doporučuje (**Váňa 2001**) zabezpečit technologiemi umožňujícími kofermentovat při anaerobní digesci zvířecích fekálií další bioodpady zemědělské, komunální a průmyslové. Ze zemědělství jde především o travní fytomasu, která počínaje r. 2001 musí být z dotačně udržované zatravněné půdy odstraňována. Tato fytomasa může být též senážována a skladována pro biozplynování v zimním období. Analogické problémy s travní fytomasou vznikají i v komunální oblasti při údržbě veřejné zeleně, kde v ČR odpadá ročně cca 200 000 t trávy.

### 6.1.3 Technicko – ekonomické hodnocení bioplynových stanic

Z obecného hlediska mají na ekonomiku bioplynových stanic vliv tyto faktory:

- cena ušlechtilých paliv a energií nahrazovaných bioplymem a dostupnost těchto paliv a technologií,
- náklady na výrobu bioplynu, do nichž se promítají provozní a investiční náklady bioplynové stanice, ovlivněné mimo jiné technickou úrovní BS (dobou životnosti a velikosti zařízení, intenzitou výroby a kvalitou bioplynu),
- lokální podmínky pro efektivní využití bioplynu a dalších substrátů,
- legislativní opatření státních a místních orgánů. (**Pastorek, Wolf 1993**).

Nižší koncentrace sušiny nepříznivě ovlivní ekonomiku bioplynové stanice v několika směrech: zvýší se náklady na dovoz kejdy a odvoz anaerobně stabilizovaného produktu, stoupají náklady na ohřev balastní vody, zvětšuje se potřebný objem reaktoru, je nižší produkce bioplynu z m<sup>3</sup> odpadu (**Kajan 2002**).

Anaerobní digesci fytomasy je možné nejjednodušeji řešit jako kofermentaci s kejdou v klasickém mokřém procesu. V marginálních oblastech, kde nebude dostatečná koncentrace hospodářských zvířat a kde fytomasa tvoří hlavní složku

substrátu, bude účelné uplatňovat suchý proces fermentace. Biozplynování fytomasy v tekutých suspenzích o sušině cca 10 % se provádí zpravidla v kontinuálních technologiích používaných v mokřích kofermentačních systémech. Optimální sušiny substrátu je dosahováno recyklací procesní tekutiny z odvodnění fermentovaného substrátu. Recyklace tekutiny z odvodnění k čerstvé fytomase zabezpečuje stabilitu procesu. Recyklovaná tekutina je nejen očkovacím médiem, ale má rovněž významné pufrací účinky. Odvodněný fermentovaný substrát na sušinu 20–30 % je možné mísit s lignocelulózovým substrátem nebo s řezanou slámou tak, aby poměr C:N byl 30 – 35:1, a tuto směs podrobit aerobní fermentaci za účelem získání kompostu s vysokým obsahem humusových látek. Anaerobní fermentace v tekutém substrátu vyžaduje objemné fermentory a je energeticky náročná na vyhřívání, čerpání a odvodňování. Pomalá reprodukovatelnost anaerobních mikroorganismů zapříčiňuje potřebu delšího období setrvání substrátu ve fermentoru, což snižuje jeho možné zatížení. Z literárních údajů vyplývá, že biozplynování fytomasy v mokřích procesech s ohledem na její nízkou pufrací schopnost je lépe orientovat na kofermentaci se zvířecími fekáliemi než na biozplynování s recyklovanou procesní tekutinou. Suché technologie anaerobní digesce pracují se sušinou vsázky vyšší než 25 % (zpravidla 30 – 35 %). V tomto rozpětí byla zjištěna nejintenzivnější produkce bioplynu 1,5 m<sup>3</sup> na 1 m<sup>3</sup> fermentačního prostoru a den při 40 % destrukci organické hmoty, aniž by koncentrace nižších mastných kyselin překročila inhibiční mez. V suchých fermentačních technologiích se používají procesy mezofilní v rozmezí teplot 35 – 40 °C nebo termofilní v rozpětí teplot 55 – 60 °C. Termofilní mikroflóra je schopna degradovat více proteinů než mezofilní a je až dvojnásobně tolerantní k volnému amoniaku. Jako nevýhoda termofilního procesu je uváděna jeho menší stabilita, zmenšená odvodňovací schopnost fermentovaného materiálu a především vyšší tepelné ztráty. Kofermentace fytomasy s kejdou umožňuje stabilizovaný proces produkce bioplynu vlivem pufrací schopnosti kejdy v substrátu a omezuje disfunkce způsobené vyšší koncentrací čpavku. Přídavek fytomasy optimalizuje poměr C:N a kejda vnáší do substrátu potřebné živiny a mikroelementy nezbytné pro rozvoj mikroflóry. Kofermentací kejdy s fytomasou je možné zefektivnit tradiční bioplynové stanice. Byly ověřeny různé poměry travní fytomasy a kejdy a nejvyšší výtěžek bioplynu byl ze substrátu, v němž sušina fytomasy tvořila 50 % celkového zatížení biofermentace (**Váňa, Šlejška 1998**).

Metanové bakterie nemohou rozkládat tuky, bílkoviny, uhlovodíky a celulózu v čisté formě. Pro svou buněčnou stavbu potřebují rozpustné dusíkaté sloučeniny, minerální látky a stopové prvky. Organické látky nerozpustné ve vodě musejí být buď rozdrobeny, nebo strukturovány tak, aby vznikly velké dotykové plochy. Materiály jako slámu, dlouhou travu nebo bioodpad je nutno rozsekat, pokud možno na vlákna, protože jinak vyhnívají velmi dlouho a vytvářejí kalový strop (**Schulz, Eder 2004**).

## 6.2 Vznik bioplynu

Bioplyn je směsný plyn, který vzniká anaerobní ethanovou fermentací organických materiálů. Tento proces lze nazývat i jako anaerobní digesci, biogasifikaci, vyhnívání, anaerobní stabilizaci kalů – obecně metanizace. Metanizace (biometanizace) je soubor procesů, při nichž směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá biologicky rozložitelnou hmotu bez přístupu vzduchu. Konečnými produkty jsou stabilizovaná organická hmota (zbytková biomasa) a plyn – bioplyn, který je tvořen převážně metanem a oxidem uhličitým (**Brandejsová, Příbyla 2009**).

Bioplyn je nízkovýhřevný plyn jehož energetická hodnota je 20 000 – 25 000 KJ.m<sup>3</sup> (při obsahu metanu 60 %). Jeho kvalitu lze zlepšit čištěním. Problematický je obsah sirovodíku v bioplynu. Tento plyn je toxický a má korozivní účinky. Proto se obvykle provádí odsiřování bioplynu. Nejjednodušším řešením je aplikace 3 – 5 % vzduchu do bioplynu v nádrži. Jeho působením dojde k rozložení sulfanu na vodu a elementární síru. Po zapravení fermentovaného materiálu je síra využita rostlinami **(Moudrý, Stražil 1998)**.

Metanová fermentace je soubor řady na sebe navazujících procesů, na kterých se podílí několik základních skupin anaerobních mikroorganismů. Produkt jedné skupiny mikroorganismů se stává substrátem skupiny druhé, a proto výpadek jedné skupiny může způsobovat poruchy v celém systému.

V prvním stadiu rozkladu – hydrolýze – jsou rozkládány makromolekulární rozpuštěné i nerozpuštěné organické látky (polysacharidy, lipidy, proteiny) na nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě pomocí extracelulárních hydrolytických enzymů. Tyto enzymy jsou produkovány hlavně fermentačními bakteriemi. Vznikající nízkomolekulární látky jsou na rozdíl od vysokomolekulárních schopny transportu dovnitř buňky.

Produkty hydrolýzy jsou uvnitř buňky během druhé fáze – acidogeneze – rozkládány dále na jednodušší organické látky (kyseliny, alkoholy, oxid uhličitý a vodík). Fermentací těchto látek se tvoří řada konečných redukovaných produktů, které jsou závislé na charakteru počátečního substrátu a na podmínkách prostředí.

V dalším stadiu rozkladu – acetogenezi – probíhá další štěpení substrátu až na vodík, oxid uhličitý a kyselinu octovou. Zároveň probíhá také acetogenní respirace oxidu uhličitého a vodíku homoacetogenními mikroorganismy. Účast acetogenních mikroorganismů produkujících vodík na rozkladu je nezbytná, protože katabolizují propionovou kyselinu a ostatní organické kyseliny vyšší než octovou, alkoholy a některé aromatické sloučeniny.

V posledním stadiu – metanogenezi – dochází pomocí metanogenních mikroorganismů k vlastní tvorbě bioplynu ze substrátů, kterými jsou jednoduhlíkaté látky, např. methanol, kyselina mravenčí, methylaminy, oxid uhličitý a kyselina octová. Metanogenní mikroorganismy jsou nejdůležitější trofickou skupinou, mají vysoce specifické požadavky na substrát i životní podmínky a vedle acetogenů zpracovávajících kyselinu propionovou se často stávají limitujícím faktorem celého procesu. Podle substrátové specifity je možno je rozdělit na pouze hydrogenotrofní, pouze acetotrofní a obojetné. Všechny fáze procesu anaerobní ethanové fermentace jsou následné, při kontinuálním provozu probíhají současně **(Brandejsová, Příbyla 2009)**.

### 6.3 Složení a kvalita bioplynu

Kvalita bioplynu je určována především poměrem hořlavého metanu (CH<sub>4</sub>) k neužitečnému oxidu uhličitému (CO<sub>2</sub>). Oxid uhličitý zředňuje bioplyn a je příčinou vzniku nákladů, především při skladování plynu. Jako obvykle dosažitelný obsah metanu literatura uvádí 50 až 75 %. Obsah metanu v bioplynu závisí především na těchto kritériích:

- průběh procesu. Zatímco u jednostupňových stanic probíhá celý anaerobní rozklad v jednom fermentoru veškerý získaný plyn je proto smíšený plyn, u dvoustupňových zařízení probíhá výroba bioplynu ve dvou stupních. Plyn vyrobený v prvním stupni obsahuje vysoký podíl oxidu uhličitého a jiných plynů, které nejsou energeticky využitelné, a proto se již v této fázi odvádějí.

Plyn vyvíjející se v druhém stupni pak obsahuje vysoký podíl metanu, který může činit i více než 80 %,

- skladba živin v substrátu. Množství a kvalita vyrobeného plynu závisí na množství a složení dodaného substrátu. Z látek bohatých na bílkoviny a uhlovlodíky se vyrobí mnohem méně plynu než z látek obsahujících tuky. Proteiny a tuky způsobují vyšší obsah metanu. U substrátů bohatých na uhlovlodíky je kvalita plynu horší,

- teplota substrátu. V praxi se ukázalo, že při teplé a horké fermentaci je obsah metanu nižší než při procesech o nižších teplotách. Tento jev lze vysvětlit rozdílnou rozpustností, tudíž i rozdílnou produkcí plynného CO<sub>2</sub>.

Po metanu a oxidu uhličitém je nejdůležitější součástí plynu sirovodík. Tato látka je velmi agresivní a zapříčiňuje korozi, což vyvolává problémy především na armaturách, plynoměrech, hořácích a motorech. Proto je zpravidla nutno bioplyn odsířit. Sirovodík vzniká při rozkladu bílkovin; je to plyn jedovatý. Již v nejmenších koncentracích, která není škodlivá, rozpoznatelný podle typického zápachu po zkažených vejcích. Podle obsahu bílkovin může obsah sirovodíku ležet mezi 0 až 1 %, vyšší koncentrace brzdí proces vyhnívání neboť sulfan je vysoce jedovatý. V bioplynu se dále nachází stopové množství amoniaku, molekulárního dusíku, vodíku a kyslíku – jejich podíl činí 6 až 8 %. Vysušení bioplynu kondenzací vodní páry je důležitým opatřením při úpravě plynu. Spolu s kondenzovanou vodou se totiž odstraní i velká část v plynu obsaženého čpavku, který by jinak mohl výrazně poškodit motory, zvláště jejich díly z barevných kovů. Pro bioplynovou technologii je optimální rozsah sušiny mezi 5 a 15 %. Při obsahu organické sušiny menším než 5% by proces sice ještě probíhal, avšak zařízením by bylo nutno bez užitku prohánět velké množství vody, což by bylo nevhodné. 15 % organické sušiny je horní přípustná hodnota, při níž lze substrát ještě čerpat, mísit a promíchávat. Dále je důležitý poměr uhlíku a dusíku (poměr C:N), který by měl činit 20:1 až 40:1 (Schulz, Eder 2004).

Bioplyn (nazývaný též kalový plyn) je směs plynů, která obsahuje zpravidla 55 až 75 % metanu (jde o složku, která určuje jeho kalorickou hodnotu), 25 až 45 % oxidu uhličitého a 1 až 3 % minoritních plynů, např. dusík, vodík, sulfan. Proměnlivou složkou bioplynu je vodní pára. Složení a vlastnosti suchého bioplynu jsou uvedeny v tabulce 4 (Pastorek 2001).

Tabulka 4: Chemické složení a vlastnosti bioplynu (Pastorek 2001).

Charakteristika	Metan CH <sub>4</sub>	Oxid uhličitý CO <sub>2</sub>	Vodík H <sub>2</sub>	Sulfan H <sub>2</sub> S	Bioplyn 60 % CH <sub>4</sub> 40 % CO <sub>2</sub>
objemový díl (%)	55 až 70	27 až 47	1	3	100
výhřevnost (MJ/m <sup>3</sup> )	35,8	-	10,8	22,8	21,5
hranice zápalnosti (obj. %)	5 až 15	-	4 až 80	4 až 45	6 až 12
zápalná teplota (°C)	650 až 750	-	585	-	650 až 750
hustota (kg/m <sup>3</sup> )	0,72	1,98	0,09	1,54	1,2

### 6.3.1 Vlhké prostředí

Metanové bakterie mohou pracovat a množit se jen tehdy, když jsou substráty dostatečně zalaty vodou (alespoň 50 %). Na rozdíl od aerobních bakterií, kvasinek a hub nemohou žít v pevném substrátu (Schulz, Eder 2004).



### 6.3.2 Zabránění přístupu vzduchu

Metanové bakterie jsou striktně anaerobní. Je-li v substrátu přítomen kyslík, musejí ho aerobní bakterie nejprve spotřebovat. Nepatrné množství kyslíku, které vzniká z cíleného nafoukání vzduchu při odsíření, však neškodí (**Schulz, Eder 2004**).

### 6.3.3 Stálá teplota

Metanové bakterie pracují při teplotě 0 – 70 °C. Kromě několika kmenů, které mohou žít při teplotě až 90 °C, při vyšších teplotách hynou. Při teplotách pod bodem mrazu přežívají, ale nepracují. Literatura udává jako dolní hranici 3 – 4 °C. Rychlost procesu vyhnívání je na teplotě silně závislá. V zásadě platí, že čím vyšší je teplota, tím rychleji nastává rozklad, tím vyšší je produkce plynu, tím kratší je doba vyhnívání a tím nižší je obsah metanu v bioplynu.

Praxe ukázala 3 typické teplotní oblasti:

- psychrofilní kmeny – teploty pod 20 °C
- mezofilní kmeny – teploty od 25 do 35 °C
- termofilní kmeny – teploty nad 45 °C

Čím vyšší teploty, tím jsou bakterie náchylnější na teplotní výkyvy, zejména jsou-li výkyvy krátkodobé a teplota klesne. Zatímco bakterie mezofilní oblasti denní výkyvy v rozmezí 2 – 3 °C kolem střední hodnoty ještě zvládnou, v termofilní oblasti by neměly být větší než 1 °C. V Německu jsou bioplynové stanice provozovány při teplotách 30 – 35 °C. U zásobníkových zařízení lze pozorovat tendenci směrem dolů (20 – 25 °C), zatímco u zařízení s kofermentací a výrobou proudu zase kvůli velkému množství odpadního tepla z kogenerace vidíme tendenci k vyšším teplotám ve fermentorech (přes 40 °C) (**Schulz, Eder 2004**).

Udržení teploty fermentačního procesu se řeší pomocí ohřevu kejdy přímo ve fermentoru nebo vně fermentoru. Jako zdroj energie se využívá produkovaného bioplynu, který je spalován a získané teplo se pomocí tepelných výměníků předává organickému substrátu přímo uvnitř ve fermentoru nebo uvnitř stěn, popř. mimo fermentor. Tato činnost může být spojena s promícháním obsahu fermentační nádrže. Intenzivním mícháním substrátu se docílí rovnoměrného rozdělení materiálu a tím i homogenizaci celého objemu fermentoru. Mimo tento cíl se mícháním zabraňuje tvoření usazenin a kalového stropu (**Pastorek, Wolf 1993**).

### 6.3.4 pH materiálu

Pro dobrý náběh a provoz fermentoru je vyžadována hodnota pH od 4,5 do 8,0, optimum se mění s jednotlivými fázemi procesu. Metanogenní bakterie vyžadují hodnotu pH v rozmezí 6,7 – 7,6. Vysoká kyselost materiálu (pH menší než 5) na ně působí inhibičně (**Pastorek 2001**). Hodnota pH by ve slabě alkalickém prostředí měla ležet okolo 7,5. U kejdy a hnoje tento stav nastává většinou v 2. fázi vyhnívajícího procesu vlivem tvorby amonia. U kyselých substrátů jako jsou výpalky, syrovátka a siláž, bývá zapotřebí přidat vápno, aby se hodnota pH zvýšila (**Schulz, Eder 2004**).

### 6.3.5 Poměr uhlíku a dusíku

Většina autorů vědeckých publikací o metanogenezi uvádí, že příliš vysoký obsah dusíkatých látek má inhibiční charakter. Za optimální poměr C:N v materiálu je považován 20 – 30:1. Lze ho upravit mísením různých materiálů nebo chemickými přísadami (**Pastorek 2001**).

### 6.3.6 Inhibitory

Inhibiční účinky na metanogenní bakterie vykazují kyslík, vysoký obsah dusíkatých látek k uhlíkatým, nízké pH, všechna baktericidní léčiva (**Pastorek 2001**). Organické kyseliny, antibiotika, chemoterapeutika a desinfekční prostředky mohou proces brzdit nebo úplně zastavit, zvláště při vyšších koncentracích. K tomu může dojít, když jsou najednou očkována všechna zvířata nebo se desinfikují stáje. Ošetřování jednotlivých zvířat nemá negativní účinky. Existují prostředky, které ani při větších koncentracích neškodí, zatímco jiné vykazují už při nízké koncentraci velmi negativní účinky (**Schulz, Eder 2004**).

## 6.4 Hlavní ukazatele výroby bioplynu

### 6.4.1 Zatížení vyhnívajícího prostoru

Důležitou veličinou, charakterizující intenzitu fermentačního procesu, je tzv. zatížení fermentačního prostoru organickou sušinou obsaženou v denní dávce kejdy. Právě vztah mezi vloženým a odbouraným množstvím organické sušiny ve fermentoru určuje stupeň stabilizace zpracovávaného materiálu. V případě vysokých dávek dochází k odstraňování ještě ne zcela odbouraných předchozích dávek a tím se snižuje efektivita celého procesu. Nízké vložené množství organické sušiny naopak negativně ovlivňuje využití prostoru fermentoru. Vyjádření organické sušiny v kg na objemovou jednotku reaktoru je mírou zatížení prostoru reaktoru (**Pastorek, Wolf 1993**). Takzvané zatížení vyhnívajícího prostoru (měrná jednotka:  $1 \text{ kg os/m}^3 \times \text{d}$ ), udává jaké maximální množství organické sušiny na  $\text{m}^3$  a den může být dodáno do fermentoru, aniž dojde k "překrmení" bakterií a zastavení procesu. Zatížení vyhnívajícího prostoru závisí především na úrovni teploty, obsahu sušiny a době kontaktu. Obvyklé zatížení při teplotě  $35 \text{ }^\circ\text{C}$  leží mezi  $0,5 - 1,5 \text{ kg os/m}^3 \times \text{d}$ . Zatížení lze zvýšit na  $3 \text{ kg os/m}^3 \times \text{d}$ , absolutní horní hranice je dosaženo při  $5 \text{ kg os/m}^3 \times \text{d}$  (**Schulz, Eder 2004**).

### 6.4.2 Rovnoměrný přísun substrátu

Aby nedošlo k nadměrnému zatížení plnicí zóny fermentoru, je třeba zajistit rovnoměrný přísun substrátu, a to v co nejkratších intervalech, jednou až dvakrát denně, v žádném případě ne týdně. Tímto způsobem se také zabrání nadměrnému poklesu teplot v plnicí zóně (**Schulz, Eder 2004**).

### 6.4.3 Odplynování substrátu

Vysoký rozkladný výkon mohou metanové bakterie vykazovat tehdy, když plyn ze substrátu může průběžně odcházet (**Schulz, Eder 2004**).

#### 6.4.4 Plynový výkon

Množství plynu běžně vznikající v bioplynové stanici se většinou udává denním objemem vyrobeného plynu připadajícím na 1 m<sup>3</sup> vyhnívací nádrže nebo na jednu dobytčí jednotku. Při měření na 28 bioplynových stanicích zpracovávajících hovězí a prasečí kejdu byly zjištěny plynové výkony 0,56-1,33 m<sup>3</sup>/DJ x den, při průměru 0,96 m<sup>3</sup>/DJ x den. Lze dokonce docílit 1,5 m<sup>3</sup> x den. Podmínkou je zpravidla delší doba kontaktu a přidání malého množství fytomasy jako slámy, nasečené trávy a zbytků krmiva (Schulz, Eder 2004).

#### 6.4.5 Výnos plynu

Celkové množství plynu získané ze substrátu během doby kontaktu (výnos plynu) lze rovněž vztáhnout na jednotku objemu vyhnívací nádrže, DJ nebo 1 m<sup>3</sup> substrátu. Jelikož zde musí být zohledněn rozdíl v obsahu vody, je vhodnější udávat množství získané z 1 kg OS. Měření prokázala kolísání výnosu plynu mezi 0,17 a 0,64 m<sup>3</sup> plynu/kg OS, při průměru 0,33 m<sup>3</sup>/kg OS (Schulz, Eder 2004).

Tabulka 5: Množství odpadu, produkce bioplynu a reaktorový prostor pro jednotlivé druhy hospodářských zvířat (Kajan 2002)

	Hmotnost (kg)	Odpad (kg.den <sup>-1</sup> )	Objem reaktoru (m <sup>3</sup> )	Produkce bioplynu (m <sup>3</sup> .den <sup>-1</sup> )
Slepice	1,5	0,2	0,015	0,015
Brojler	0,8	0,15	0,01	0,012
Sele	20	1,8	0,03	0,04
prase výkrm	50 – 110	7	0,14	0,14
prasnice	160	12	0,25	0,2
Tele	120	7	0,1	0,08
býk výkrm	120 – 350	22	0,4	0,5
býk výkrm	nad 350	42	1,3	1,0
Jalovice	120 – 300	20	0,4	0,39
Jalovice	300 – 500	38	1,3	0,85
Dojnice	500 – 600	50	2	1,2
podestýlka sláma	1,0	-	0,08	0,2

Uvedené hodnoty množství odpadu a následné produkce bioplynu (tab. 5) nejsou neměnné a závisí na koncentraci sušiny resp. organických látek v odpadu, což je dáno skutečností, že bioplyn vzniká jenom z organických látek. Voda se do kejdy dostává hlavně při mytí stáji z nedokonale seřizených napájecích systémů a netěsností kanalizačního systému na farmách. Obzvláště u reprodukčních chovů, je v důsledku zooveterinárních požadavků spojených s vyšší spotřebou mycí vody, množství kejdy vyšší. Dosahované koncentrace se tak často pohybují v rozmezí 2 až 3 % sušiny v kejdě (Kajan 2002).

#### 6.4.6 Stupeň rozkladu

Stupeň rozkladu udává, kolik procent OS bylo rozloženo během doby kontaktu. Měření na 28 stanicích ukázala stupeň rozkladu mezi 26,7 a 75,9 % při střední hodnotě 43,5 %. Je tedy žádoucí docílit stupeň rozkladu od 40 do 60 % (Schulz, Eder 2004).

#### 6.4.7 Doba kontaktu

Doba kontaktu substrátu ve fermentoru má v souvislosti s teplotou vyhnívacího procesu velký vliv na stupeň rozkladu, plynový výkon a výnos plynu. Krátké doby kontaktu přinášejí vysoký plynový výkon (vztaženo na m<sup>3</sup> vyhnívací nádrže a den), neboť dochází především k rozkladu snadno rozložitelných živin, ty jsou však na druhé straně spojeny s nízkým výnosem plynu (vztaženo na kg organické sušiny) a nízkým stupněm rozkladu. Při dlouhých dobách kontaktu klesá plynový výkon, zatímco výnosy plynu se zvyšují. Doba kontaktu se vypočítá tak, že objem nádrže se dělí denně dodávaným množstvím substrátu. Průměrná doba vzrostla z 35 na 51 dní (**Schulz, Eder 2004**).

#### 6.4.8 Čistý (netto) výnos plynu

Jako čistý výnos plynu se označuje množství plynu, které zůstane z hrubého (brutto) výnosu po odečtení energie potřebné pro podporu procesu. U dobrých moderních stanic činí čistý výnos 65–70 % hrubého výnosu, za předpokladu stoprocentního zužitkování plynu během celého roku. Aby spotřeba energie pro podporu procesu byla co nejnižší, je nutné dosáhnout co největšího podílu sušiny v substrátu. Velký podíl vody v substrátu je pro výnos plynu neúčinný, protože pouze vyžaduje ohřev a udržování teploty a mimo to se spotřebovává energie na čerpání a oběh směsi (**Schulz, Eder 2004**).

### 6.5 Výroba bioplynu

Statistika výroby bioplynu dokládá rostoucí význam tohoto oboru např. z hlediska výroby obnovitelné energie. V roce 2006 bylo v rámci zemí EU z bioplynu, kalového plynu a skládkového plynu vyrobeno celkem 17,3 TWh elektrické energie (tedy 17,3 miliard kWh). Porovnání s rokem 2005 přitom ukazuje silný meziroční nárůst výroby elektřiny o takřka 29 % (celkem 13,4 TWh v roce 2005). Pro představu, toto množství energie převyšuje o 44 % výrobu elektrické energie v největší elektrárně ČR, JE Temelín (12,02 TWh v roce 2006). Na celkové produkci 17,3 TWh se samotná výroba elektřiny z bioplynu podílí cca ze 40 % a lze očekávat, že se tento podíl bude i nadále zvyšovat (**Bačík 2008**).

Technologické systémy pro výrobu bioplynu se principiálně liší podle vlastností zpracovávaného materiálu, záleží především na tom, zda je zpracováván materiál v rozpuštěné formě nebo v suspenzi. U suspenzních materiálů je rozhodující velikost a koncentrace tuhých částic. Z toho hlediska lze mechanizační reaktory dělit na reaktory pro zpracování rozpuštěného substrátu (odpadní vody), reaktory pro zpracování substrátu v suspenzi (s obsahem sušiny do 10 – 12 %, např. kaly, kejdy) a reaktory pro zpracování tuhých materiálů (obsah sušiny 10 – 50 %, např. slamnatý hnůj) (**Brandejsová, Příbyla 2009**).

Cílem pokusu (**Gaduš, Šágrová 2005**) bylo zjistit vliv složení vstupního substrátu na množství, složení a kvalitu produkovaného bioplynu. Jako referenční biomasa pro následné vyhodnocení byla zvolena hovězí kejda. Jako kosubstrátů bylo postupně využito kukuřičné siláže, čerstvé trávy, kuchyňských odpadů a silážované trávy. Přidáváním kukuřičné siláže v poměru 40 % ze sušiny obsažené v substrátu bylo dosaženo zvýšení průměrné produkce plynu o 48,5 % a přidáváním 60 % podílu kukuřičné siláže se průměrná produkce zvýšila o 72,7 %.

Při ostatních kosubstrátech se dosáhla nižší průměrná produkce bioplynu, přičemž nejhorší výsledky byly dosaženy při použití čerstvé trávy přidávané v poměru 10 % ze sušiny obsažené v substrátu. V tomto případě se snížila produkce průměrně o 73,5 %.

## 6.6 Výběr vhodné odrůdy

V pokusu (Navrátil, 2009) byly vypěstovány dva hybridy kukuřice pro energetické účely. K hodnocení byl porost založen jako maloparcelní. Hodnocen byl výnos biomasy, obsah sušiny, výnos sušiny a produkce bioplynu. U jednoletých hodnocení byl zaznamenán trend lepších výsledků u hybridu šlechtěného k energetickým účelům. Byly zvoleny dva hybridy:

- KWS – ATLETICO: středně ranný hybrid určený k energetickým účelům
- Limagrain – LATIZANA: středně ranný hybrid – silážní hybrid s možností využití k energetickým účelům.

Pro zhodnocení zralosti porostu byly odebrány vzorky 11. 9. 2008 a následně stanoven obsah sušiny. V tomto termínu byly dosaženy následující hodnoty obsahu sušiny v biomase: ATLETICO 27,4 % a LATIZANA 27,9 %. Obsah sušiny v biomase u obou hybridů nedosahoval v tomto termínu potřebných hodnot pro kvalitní kukuřičnou siláž na výrobu bioplynu.

Sklizeň porostu kukuřice na siláž byla provedena 17. 9. 2008. Dosažený výnos biomasy jednotlivých hybridů je uveden v tabulce 6. Vyšší výnos biomasy byl dosažen u hybridu ATLETICO. Ve srovnání s hybridem LATIZANA výnos biomasy narostl o 4,5 t/ha. V tomto termínu byl dosažen optimální obsah sušiny biomasy pro výrobu kvalitní siláže na bioplyn. U hybridu ATLETICO byl obsah sušiny 29,4 % a u hybridu LATIZANA 30,5 %. U hybridu ATLETICO byl dosažen výnos sušiny 17,7 t/ha a u hybridu LATIZANA 17,0 t/ha (tab. 7). Vyšší výnos sušiny u hybridu ATLETICO byl způsoben vyšším výnosem biomasy.

Tabulka 6: Výnos biomasy – první sklizeň (Navrátil, 2009)

Opakování	ATLETICO	LATIZANA
I	55,0	54,0
II	63,0	65,0
II	70,0	52,0
IV	53,0	52,0
Průměr	60,2	55,7

Tabulka 7: Obsah sušiny a výnos sušiny (t/ha) 17. 9. 2008 (Navrátil, 2009)

	% sušiny	Výnos sušiny (t/ha)
ATLETICO	29,4	17,7
LATIZANA	30,5	17,0

Z první sklizně byla u obou hybridů vytvořena siláž. ENKI Třeboň byl stanoven obsah bioplynu v siláži u obou hybridů. U hybridu ATLETICO byla dosažena výtěžnost metanu 383,4 NL/kg OL (normovaný litr). U hybridu LATIZANA 372,3 NL/kg OL. U hybridu ATLETICO byl zaznamenán nárůst výtěžnosti metanu o 11,1 NL/kg OL.

Z výsledku při stanovení výnosu bioplynu v ENKI Třeboň vyplývá, že u hybridu ATLETICO (hybrid šlechtěný k energetickým účelům) byla dosažena vyšší produkce bioplynu ve srovnání s hybridem LATIZANA (hybrid šlechtěný pro silážní účely s možností využití k energetickým účelům). Po podzimním zmrznutí

rostlin kukuřice došlo k mírnému nárůstu sušiny. Pro účely spalování by ale biomasa z této sklizně musela být ještě dosoušena. Při sklizni v jarním období byl obsah sušiny biomasy vhodný pro spalování. Došlo však k výraznému snížení výnosu sušiny ve srovnání se sklizní kukuřice po podzimním zmrznutí. Pro vyjádření přesnějších závěrů je potřebné provést víceleté sledování, neboť při pěstování kukuřice k uvedeným účelům se významně uplatňuje i vliv ročníku. Přesto se potvrdila skutečnost, že při pěstování kukuřice na výnos bioplynu je vhodné volit hybrid vyšlechtěný k energetickým účelům. Výsledky ukázaly na neperspektivnost spalování biomasy kukuřice. (Navrátil, 2009).

## 6.7 Bioplynové technologie

### 6.7.1 Dávkový způsob

U dávkového postupu se vyhnívací nádrž naplní najednou. Dávka pak vyhnívá do konce doby kontaktu, aniž se další substrát přidává nebo odnímá. Produkce plynu po naplnění pomalu roste, dosahuje maxima a poté klesá. Na konci doby kontaktu se nádrž najednou vyprázdní. Přitom se menší množství vyhnílého kalu (cca 5 – 10 %) ponechá v nádrži, aby se nová dávka naočkovala „zapracovanými“ bakteriemi (Schulz, Eder 2004).

### 6.7.2 Střídání nádrží

Tato technologie pracuje se dvěma vyhnívacími nádržemi: z přípravné nádrže, která pojme substrát získaný za 1 – 2 dny, se prázdná vyhnívací nádrž pomalu, ale rovnoměrně plní, zatímco v druhé probíhá vyhnívací proces. Když je první nádrž naplněna, obsah druhé nádrže se najednou přesune do skladovací nádrže a následně se tato vyprázdněná druhá nádrž začne plnit z přípravné nádrže. Mezitím se vyhnílý kal ze skladovací nádrže vyváží na vhodné plochy, takže tato nádrž se průběžně zcela nebo částečně vyprazdňuje. Její kapacita by proto měla být větší než kapacita jedné vyhnívací nádrže. Tento postup se vyznačuje velmi rovnoměrnou výrobou plynu a dobrým hygienizačním účinkem, neboť během celé doby není doplňován nový substrát. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady a oproti systému s jedním fermentorem vyšší tepelné ztráty (Schulz, Eder 2004).

### 6.7.3 Průtokový způsob

Většina bioplynových stanic na světě pracuje s průtokovým způsobem, buď v čisté formě nebo v kombinaci se zásobníkovým způsobem. Tento postup se vyznačuje tím, že vyhnívací nádrž je stále naplněna a vyprazdňuje se pouze příležitostně kvůli opravám nebo odstranění usazenin. Z malé přípravné nádrže je čerstvý substrát – většinou jednou až dvakrát denně – dodáván do vyhnívací nádrže, přičemž zároveň automaticky odchází odpovídající množství vyhnílého substrátu přepadem do skladovací nádrže. Výhodou této metody je rovnoměrná výroba plynu, dobré využití vyhnívacího prostoru a tím také cenově příznivá, kompaktní konstrukce s nízkými tepelnými ztrátami. Kromě toho lze proces plnění automatizovat, např. plovákovým spínačem v přípravné nádrži nebo prostřednictvím časového spínače na plnicím čerpadle. Nevýhodou oproti dávkovému systému a systému střídání nádrží je to, že v závislosti na míchací technice a typu nádrže

může dojít ke smíchání čerstvého substrátu s vyhnílym materiálem, čímž se znehodnotí hygienizační efekt (Schulz, Eder 2004).

#### 6.7.4 Metoda se zásobníkem

U zásobníkové metody jsou fermentor a skladovací nádrž spojeny do jedné nádrže. Při vyvážení vyhnílého materiálu se zásobník vyprázdí až na malý zbytek, který je nutný k naočkování další náplně. Poté se kombinovaná vyhnívací a skladovací nádrž pomalu plní z přípravné nádrže nebo stálým přítokem kejdy přes přirozený přepad. Výhodou zásobníkové zařízení jsou především nízké náklady, provozovatel potřebuje pouze velkou a tedy relativně levnou nádrž. Kromě toho je provoz těchto zařízení jednoduchý a přehledný. S použitím fóliové krytiny, vyvinuté v poslední době, se také daří stávající otevřené jímky na kejdu s malými náklady přebudovat na bioplynové stanice. U zásobníkových zařízení s fóliovým krytem jsou problémem vysoké tepelné ztráty. U zásobníkových zařízení s pevným krytem musí být obsah plynojemu tak velký, že při vyvážení substrátu nevznikne nebezpečí vniknutí vzduchu. U zásobníkových zařízení s fóliovým poklopem je nezbytné zajistit ochranu před povětrnostními vlivy (Schulz, Eder 2004).

#### 6.7.5 Kombinovaná průtoková metoda se zásobníkem

Kombinovaná průtokovo-zásobníková zařízení reprezentují současný nejvyšší vývojový stupeň bioplynové technologie. Vznikly tak, že k průtokovému fermentoru byly připojeny dříve otevřené skladovací nádrže na vyhnílou kejdu dodatečně opatřené fóliovým poklopem nebo pevným krytem, a to s cílem zabránit ztrátám dusíku způsobeným aerobními rozkladnými procesy a získat dodatečný bioplyn. Praxe ukázala, že při dnešních obvyklých dobách skladování, což je zhruba 7 měsíců, pochází 20 – 40 % celkového výnosu bioplynu ze skladovací nádrže. Tato nádrž zpravidla není ani izolovaná, ani ohřívána nebo promíchávaná, takže náklady na dodatečný zisk bioplynu jsou relativně malé (Schulz, Eder 2004).

#### 6.7.6 Jednostupňový nebo vícestupňový proces

Vyhnívání substrátu a výrobu bioplynu lze z hlediska techniky výrobního procesu provádět jednostupňově nebo vícestupňově. Při jednostupňovém procesu probíhají čtyři fáze vyhnívacího procesu v jednom vyhnívacím prostoru, u plně promíchávaných zařízení souběžně ve stejném čase i prostoru a u zařízení ve směru toku nepromíchávaných (s tzv. pístovým prouděním) naproti tomu v různých prostorech jedna za druhou. U vícestupňových postupů se provádějí pokusy různé fáze vyhnívacího procesu prostorově oddělit, a sice použitím většího počtu vyhnívacích nádrží, nebo oddělením ve vyhnívacím prostoru. Pro zemědělské plynové stanice připadá z vícestupňových postupů kvůli nákladům v úvahu jen dvoustupňový postup (Schulz, Eder 2004).

Téměř každý reaktorový systém je sestaven ze skupiny reaktoru a separační části. Oddělení tuhých částic od vodného zbytku po fermentaci je nejčastěji prováděno strojně (odstředivka, pásový lis, kalolis, šnekový lis). Reaktory se podle konstrukce dělí na jednoduché nebo kombinované. Pak se technologické linky mohou skládat z jednoho nebo více reaktorů v sériovém nebo paralelním řazení. Společným znakem jednofázového procesu je sdružený odběr bioplynu a liniový průtok reagující suspenze. Systémy dvoufázové obsahují oddělený předreaktor

pro kyselé procesy, plyn s obsahem vodíku se zpracovává buď odděleně anebo se vtlačuje do druhé fáze procesu.

Míchání a teplota patří mezi nejdůležitější faktory ovlivňující dobrou funkci anaerobních reaktorů. Z konstrukčního hlediska existuje několik základních způsobů míchání a vytápění mechanizačních reaktorů. Míchání mechanizačních reaktorů může být mechanické (různé druhy míchadel, turbin, vrtulových míchadel, čerpadel), časté je použití míchání recirkulací kalu. Kalovými čerpadly je kal odčerpáván z dolní části nádrže a je opět vstříkovan do různých míst nádrže tak, aby došlo k optimálnímu promíchání obsahu nádrže. Dalším typem je pneumatické míchání – míchání recirkulací plynu. Bioplyn je čerpán z plynového prostoru a pod tlakem vháněn do různých míst nádrže. To je možné buď přímým vháněním stlačeného bioplynu do reaktoru (jednou nebo více trubkami) nebo různými zařízeními na principu mamutek anebo vháněním stlačeného plynu do systému difuzorů (umístěných na dně nebo po obvodu nádrže). Posledním typem míchání je rozrušování plovoucí kalové vrstvy, a to může být mechanické, pomocí míchadla, rozstříkem surového kalu nebo necirkulované fermentační směsi. Dobré promíchání je dosažitelné při spotřebě energie 5 – 8 W/m<sup>3</sup> reaktoru, při míchání plynem to odpovídá asi 0,27 – 0,42 m<sup>3</sup> bioplynu na m<sup>3</sup> reaktoru za hodinu. Spotřeba energie na míchání je silně závislá na vlastnostech reagující suspenze a musí být hodnocena podle praktických podmínek, hlavně podle obsahu sušiny. Vytápění mechanizačních nádrží je nejčastěji prováděno čtyřmi způsoby. První způsob je teplou vodou nebo párou a topnými tělesy uvnitř nádrže. Další opět využívá teplou vodu nebo páru ve výměnících tepla ale vně nádrže. Ohřívá se zde necirkulovaný a někdy i surový kal. Třetí způsob využívá přímého injektování vodní páry buď přímo do nádrže, nebo do proudu necirkulovaného kalu. Poslední způsob funguje s ponořenými (imersními) plynovými hořáky (**Brandejsová, Příbyla 2009**).

## 6.8 Využití bioplynu

Vysoký obsah metanu a tím i vysoká výhřevnost (16 – 27 MJ/m<sup>3</sup>) řadí bioplyn mezi ušlechtilé zdroje energie. Bioplyn se z mechanizačních reaktorů odvádí do nízkotlakého plynojemu a odtud se potom rozvádí k dalšímu zpracování. Část vyrobeného bioplynu slouží k vyhřívání mechanizačních nádrží a pro další tepelné hospodářství bioplynové stanice. Další podíl získané energie se využívá k vytápění budov, na výrobu teplé vody, sušení apod. Pokud provozovatel bioplynové stanice dosud nenalezl žádný způsob využití, je zbytkový plyn likvidován spalováním na hořáku na němž musí být nezbytně zajištěno dokonalé spalování. Historicky nejstarší využití bioplynu je jeho přímé spalování v kotlích pro ohřev reaktorů. Takto se využije jen část vzniklého tepla, zbylá část je využita, jak výše popsáno, pro vytápění budov nebo k ohřevu užitkové vody. V letních měsících je možno bioplyn s výhodou využít jako zdroj tepla pro sušení různých zemědělských produktů. Za nejefektivnější se v současné době považuje využití bioplynu pro pohon spalovacích motorů spojených s agregátem na výrobu elektrické energie, tj. kogenerační výroba elektrické energie a tepla. Zde lze používat upravené zážehové anebo vznětové motory nebo plynové turbíny. Bioplyn lze použít k pohonu motorů k výrobě mechanické nebo elektrické energie. Odpadní teplo z chlazení motoru a spalin se využívá k ohřevu anaerobních reaktorů, k výrobě teplé vody a k vytápění. Jedná se o nejefektivnější způsob využití bioplynu a pokrývá energetické nároky bioplynové stanice nebo čistírny odpadních vod (**Brandejsová, Příbyla 2009**).



Pro kogeneraci tepla a elektřiny se využívají dva druhy generátorů. Asynchronní generátor. Je to trojfázový motor s kotvou nakrátko, který je připojen na veřejnou síť. Asynchronní generátory jsou levné a robustní. Hlavní nevýhodou asynchronního generátoru je, že při výpadku sítě nemůže vyrábět proud, takže nemůže sloužit jako nouzový agregát. Synchronní generátory jsou samobudící, tzn. konstruované tak, že mohou vyrábět elektrický proud i bez připojení k síti. Proud potřebný k vytvoření magnetického pole je vyráběn malým pomocným generátorem osazeným na hřídeli a přiváděn do vinutí kotvy v rotoru. U synchronních motorů musejí být otáčky synchronizovány se sítovou frekvencí. Pro tento účel je nutno vybavit bioplynový motor regulátorem otáček a regulátorem množství plynu. Synchronní generátory s výkonem vyšším než 45 až 50 kW jsou stejně drahé jako asynchronní generátory (**Schulz, Eder 2004**). Tímto způsobem lze dosáhnout vysoké účinnosti konverze energie z bioplynu na elektrickou energii (80 – 90 %) (**Pastorek 2001**). Přeměna zvířecích odpadů nebo hnoje na metan/bioplyn může přinést průkazné enviromentální a zdravotní výhody. Metan je skleníkový plyn, který má 22 – 24x větší potenciál ke globálnímu oteplování než oxid uhličitý. Využitím metanu je skleníkový dopad anulován. Dále teplo vzniklé v průběhu vyhnívacího procesu zahubí patogeny přítomné ve výkalech a zbylý materiál poslouží jako hodnotné hnojivo (**Anonym 2008**).

Pokud je bioplyn zbaven oxidu uhličitého a dalších nežádoucích příměsí, lze jej za přesně definovaných podmínek (čistota, kvalita, tlak apod.) vtlačet do plynovodní sítě na základě smluvního vztahu s provozovatelem dotčené plynovodní sítě. Mezi další možnosti využití bioplynu patří jeho využívání pro pohon motorových vozidel a zemědělských strojů (**Brandejsová, Příbyla 2009**).

## 6.9 Využití odpadního tepla

Cílem kogenerace tepla a proudu z bioplynu je plně využít nejen proud, ale také odpadní teplo z motorů. V zimě to zpravidla není problém, v létě však často vzniká přebytek tepla. Proto ke každému bioplynovému motoru náleží také tzv. nouzový chladič, aby bylo možno odpadní teplo vyfoukat do venkovního ovzduší. Jako nouzový chladič slouží lamelový výměník tepla, přizpůsobený výkonu motoru, s ventilátorem poháněným sítovým proudem, výměník je řízen termostaticky a umístěn mimo stroje. Výstupní teplota je většinou působením termostatu regulována na 85 až 95 °C. Vstupní teplota do motoru je by neměla klesnout pod 80 °C (**Schulz, Eder 2004**).

## 6.10 Využití digestátů jako organického hnojiva

Pro zbytky po anaerobní digesci se v minulosti zavedl termín digestát. Tento termín je dnes možno nalézt v odborných slovnících (Wikipedia) i v názvosloví legislativních předpisů. Na digestáty jsou z hlediska legislativního kladeny zejména hygienické požadavky. Jedná se o splnění procesních hygienizačních parametrů, splnění limitních hodnot rizikových prvků a indikátorových organismů. V případě, že se digestáty využívají jako organické hnojivo na zemědělské půdě je určujícím předpisem úplné znění zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, a zejména úplné znění vyhlášky č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva. Pro digestát z bioodpadů je určujícím legislativním předpisem úplné znění zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, s přihlédnutím ke změnám provedeným zákonem č. 314/2006 Sb.

Pro digestáty z anaerobní digesce vedlejších živočišných produktů je rozhodující legislativa Evropské unie označovaná jako legislativa ABP (Animal by product), zejména Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1774/2002, kterým se stanoví hygienická pravidla týkající se vedlejších živočišných produktů, které nejsou určeny pro lidskou spotřebu, včetně vydaných dalších nařízení Komise (č. 808/2003; č. 92/2005; č. 181/2006; č. 208/2006). Pod legislativu ABP jsou zahrnuty i hnůj a kejdy, za předpokladu jejich zpracování na bioplynové stanici. Bioplynové stanice zpracovávající hnůj a kejdu jsou zařazovány pod působnost zákona 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezování znečištění podle přílohy č. 1 kategorie 6.5.

V současné době se v zahraničí nejčastěji provádí anaerobní digesce kukuřičné siláže, dalších píceň nebo energetických rostlin. Dále je často zbioplynována čerstvá nebo senážovaná travní fytomasa, jejímž zdrojem jsou nejen louky, ale též veřejná zeleň, golfové hřiště apod. Sušina digestátu by měla minimálně obsahovat 25 % spalitelných látek a 0,6 % celkového dusíku. Takový digestát je považován za typové organické hnojivo vyrobené anaerobní fermentací ze statkových hnojiv (číslo typu 18. 1. e.). Ostatní digestáty určené pro zemědělskou půdu jsou považovány za netypové organické hnojivo. Vyhláška č. 209/2005 Sb. zrušila zvláštní ustanovení, že digestát tohoto typu je možné aplikovat na půdu maximální dávkou 30 t/ha nejvýše jednou za 3 roky. Limitní hodnoty rizikových prvků v digestátu jsou uvedeny v tab. 8. Při využití digestátů na zemědělské půdě je nezbytné tuhé digestáty zapravit do půdy do 48 hodin, tekuté digestáty do 24 hodin. Aplikace musí být rovnoměrná po celém pozemku, je zakázáno aplikovat na půdu přemokřelou, zasněženou nebo promrzlou. Ve zranitelných oblastech je třeba respektovat Nařízení vlády č. 103/2003 Sb., zejména omezení hnojení dusíkem a respektování období zákazu hnojení. Digestát je třeba aplikovat na pozemku rovnoměrně a je nutno zamezit vniknutí digestátu do povrchových vod nebo na sousední pozemek. Aplikace digestátu je předmětem evidence použitých hnojiv podle vyhlášky č. 274/1988 Sb., příloha č. 1. Pro tuhý i tekutý digestát ze statkových hnojiv musí být dostatečné skladovací prostory (Váňa 2012).

Hygienické požadavky na digestát jsou:

- *Salmonella spp.* v 50 g: negativní nález v 5 vzorcích.
- termotolerantní koliformní bakterie: z 5 vzorků musí být u 2 vzorků nižší nález než 300 KTJ/ g a u 3 vzorků nižší nález než 10 KTJ / g (Váňa 2012).

Tabulka 8: Limitní koncentrace vybraných rizikových látek. Sledovaný ukazatel (Váňa 2012)

Sledovaný ukazatel	Digestát třída 1(*)	Digestát třída 2(*)	Ze statkových hnojiv
Cd (mg/kg sušiny)	0.7	1.5	2
Cr (mg/kg sušiny)	100	150	100
Cu (mg/kg sušiny)	100	150	100
Hg (mg/kg sušiny)	0.5	1	1
Ni (mg/kg sušiny)	50	75	50
Pb (mg/kg sušiny)	100	150	100
Zn (mg/kg sušiny)	200	400	400
As (mg/kg sušiny)	x	x	10
Mo (mg/kg sušiny)	x	x	5

(\*) Normalizováno na 30 % obsahu organické hmoty

Podle zákona č. 156/1998 Sb., „o hnojivech“, je nutno hnojiva před jejich uvedením do oběhu zaregistrovat u Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského. V souvislosti s tím je zapotřebí zaplatit správní poplatek

pro registraci, zajistit ověření chemicko-fyzikálních vlastností a společně s vyplněnou žádostí předložit i vzorek hnojiva. Hnojivo musí splnit limitní hodnoty obsahu rizikových prvků uvedených v tabulce 9 (**Biom.cz 2012**).

Tabulka 9: Limitní hodnoty obsahu rizikových prvků (**Biom.cz 2012**).

Rizikové prvky 1	Hodnota
Rtuť Hg	max. 1,0
Kadmium Cd	max. 2
Olovo Pb	max. 100
Chrom Cr	max. 100
Měď Cu	max. 100
Zinek Zn 2	max. 300
Níkl Ni	max. 50
Molybden Mo	max. 5
Arsen As	max. 10

1 v mg prvku . kg<sup>-1</sup> vysušeného vzorku, 2 pro typový digestát platí max. 400

Digestát vyrobený anaerobní fermentací ze statkových hnojiv a rostlinných tkání převážně ze zemědělské výroby je považován za typové organické hnojivo. Používá-li producent digestát pro vlastní potřebu a není tudíž uváděn do oběhu, není nutné žádat o registraci hnojiva. Digestát v tuhém i tekutém stavu je považován jako organické hnojivo podle zákona č. 254/2001 Sb., o vodách, mezi tzv. závadné látky. Ten, kdo zachází se závadnými látkami, je povinen učinit přiměřená opatření, aby nevnikly do podzemních nebo povrchových vod a neohrožily životní prostředí. Skladování tuhých a tekutých digestátů musí být prováděno podle vyhlášky č. 274/1998 Sb. „o skladování a způsobu používání hnojiv“ za podmínek, jaké jsou vyžadovány pro hnůj a kejdu. Aplikace digestátu musí být rovnoměrná po celém pozemku, je zakázáno aplikovat na půdu přemokřelou, zasněženou nebo promrzlou, je nutno zamezit vniknutí digestátu do povrchových vod nebo na sousední pozemek. Aplikace digestátu je předmětem evidence použitých hnojiv podle vyhlášky č. 274/1998 Sb. Ve zranitelných oblastech je třeba respektovat Nařízení vlády č. 103/2003 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a o používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech. Jde zejména o omezení hnojení dusíkem a respektování období zákazu hnojení. Dávka digestátu by měla vycházet z potřeby živin porostu pro předpokládaný výnos a kvalitu produkce, z množství přístupných živin a organické hmoty v půdě a ze stanovištních a pěstitelských podmínek (**Biom.cz 2012**).

Tabulka 10: Obsah organických látek a rostlinných živin v tuhé a tekuté části digestátů (Váňa 2012)

Parametr	Jednotka	Kejda prasat		Slepičí trus		Siláž kukuřice		Jateční odpad		Směsný ABP
		tuhý	tekutý	tuhý	tekutý	tuhý	tekutý	tekutý	tuhý	tekutý
Sušina	%	27,2	5,2	13,7	5,5	26,1	4,9	10,4	28,0	5,6
spalitelné látky	% suš.	51,8	47,3	76,6	63,1	82,3	64,6	80,3	71,9	61,8
dušík N	% suš.	3,9	11,0	5,4	10,3	2,7	9,9	5,8	3,55	9,85
fosfor P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	% suš.	5,6	5,4	5,9	4,1	5,0	3,9	4,8	5,24	4,51
draslík K <sub>2</sub> O	% suš.	1,6	5,8	2,5	6,3	1,7	9,1	5,2	2,32	7,18
vápník CaO	% suš.	4,9	3,0	3,9	3,1	2,2	2,6	2,9	3,3	2,82
hořčík MgO	% suš.	6,1	1,7	1,9	1,9	2,0	1,0	2,8	3,33	1,60
uhlík C	% suš.	25,9	23,6	38,3	31,55	41,15	32,3	40,15	35,95	30,9
C:N	x	8,93	2,15	7,09	3,06	15,2	3,26	5,42	10,12	3,13

## 7. Využití kukuřice pro výrobu pohonných hmot

Využití domácí zemědělské produkce a sociální aspekt stabilizace venkovského obyvatelstva už řešilo politické rozhodnutí vlády 1. republiky z roku 1932 pod tlakem Agrární strany zákonem č. 85/32 Sb., o povinném mísení lihu s pohonnými hmotami. Tyto směsi typu benzin-benzol-etanol obsahovaly 20 až 25 % bezvodého lihu. Obdobné programy jsou v současnosti využívány v řadě zemí, např. v Brazílii, Francii, Kanadě nebo USA. Vlády těchto zemí přijaly politická rozhodnutí, kterými se zřekly výnosu spotřební daně pro část pohonných hmot nahrazených kvasným lihem nebo jeho deriváty. Z alkoholů používaných do benzinů jsou nejdůležitější: metanol, etanol, izopropanol, t-butanol a jejich směsi. Z éterů to jsou hlavně: metyl-tercbutyl-éter (MTBE), etyl-tercbutyl-éter (ETBE), tercaml-metyl-éter (TAME) a jejich směsi. Některé mají více charakter paliva, některé se více používají jako antidetonační přísady (Křepelka 1997).

Pro zavádění biopaliv v České republice, kromě výše zmíněného poklesu produkce emisí skleníkových plynů, jsou rozhodující tři důvody:

Biopaliva jsou obnovitelným zdrojem energie. Používání biopaliv snižuje závislost na ropě, která pochází převážně z dovozu a její cena neustále kolísá – proto nelze předvídat její další cenový vývoj. Výroba biopaliv přináší další možnosti využití zemědělské půdy a je jednou z příležitostí pro vytvoření nových pracovních míst v rezortu zemědělství a lesnictví. Bioetanol lze vyrobit z každé zemědělské plodiny, která obsahuje sacharidy, tj. od vojtěšky přes brambory, obiloviny až po cukrovou řepu nebo třtinu. Surovinou může být také jakákoli biomasa obsahující lignocelulózu např. dřevo, dřevěné piliny nebo odpady při výrobě celulózy a papíru. Z obilí a biomasy lze bioetanol vyrobit buď kyselou hydrolýzou pomocí kyseliny sírové, nebo vodní hydrolýzou za vyšších teplot a tlaků, podobně je to možné i kyselou hydrolýzou dřevěných pilin, štěpků nebo stružin (Miler 2009).

Etanol je vysoce hodnotné palivo pro spalovací motory. Jeho předností je ekologická čistota a antidetonační vlastnosti. Nevýhodou je schopnost vázat vodu a tím způsobovat korozi motoru, což je možné eliminovat přidáním antikoročních přípravků. V ČR se uvažuje o 5 – 10% přidavku etanolu do benzínu, popř. 15% ETBE z něho vyráběného. Díky fyzikálně – chemickému složení je ETBE vhodnější přídavek do benzínu než etanol. Vhodnou surovinou pro výrobu etanolu jsou

obiloviny, ze kterých lze vyrobit 2 – 3 tuny etanolu z jednoho hektaru. Z ekologického hlediska jsou obiloviny vhodné, protože výroba etanolu z obilí je bezodpadová. Nejvhodnější obilovinou pro výrobu etanolu je u nás žito, velmi vhodná je i pšenice. Tritikale se plně vyrovná žitu a je také vhodnou plodinou pro výrobu ethanolu. Při využití obilovin k výrobě etanolu dojde k úspoře dotací na uvádění půdy do klidu, sníží se nároky na dovoz pohonných směsí, sojových a arašídových pokrutin, nahraditelných výpalky a lepšímu využití kapacity našich lihovarů (**Moudrý, Stražil 1998**).

## **7.1 Legislativní podmínky ve světě a v ČR**

### **7.1.1 Politika biopaliv v Brazílii**

Okolo 45 % všech energií spotřebované v Brazílii pochází z obnovitelných zdrojů, kombinuje hydroenergetiku (14,5 %) a biomasu (30,1 %). V roce 2006 představovala cukrová třtina 32,2 % obnovitelných zdrojů a 14,5 % z celkové energetické produkce. (GBEP, 2007) (**Anonym 2008**).

### **7.1.2 Politika biopaliv v USA**

Ve Spojených státech v současné době dominuje v produkci biopaliv bioetanol, vyráběný z kukuřice (30 miliard litrů v roce 2007), následovaný bionaftou ze sojových bobů, která dosáhla produkce 2 miliardy litrů.

Energetický zákon z roku 2005 představil kvantitativní cíle pro paliva z obnovitelných zdrojů. Zákon požaduje, že veškerý prodaný motorový benzín v USA musí obsahovat 7,5 miliardy galonů (28,3875 miliard litrů) z obnovitelných zdrojů do roku 2012. Procentuální obsah má být poté udržován ve stejném množství jako roku 2012. Zákon energetické nezávislosti a bezpečnosti z roku 2007 ustanovuje mnohem ambicióznější cíle, specifikoval objem pro rok 2008 na 9 miliard galonů (cca 34 miliard litrů) obnovitelných paliv a postupný vzrůst na 36 miliard galonů (136,26 miliard litrů) v roce 2022 (**Anonym 2008**).

### **7.1.3 Politika biopaliv v EU**

Za poslední dekádu vzrostla produkce a využívání biopaliv v EU. V roce 2007 bylo vyprodukováno 9 miliard litrů biopaliv, převažovala motorová bionafta (6 miliard litrů) Odvětví podstoupilo velmi rychlý růst, Německo vyrobilo více než polovinu bionafty v EU. Legislativa, zabývající se biopalivy obsahuje tři hlavní směrnice. První pilíř je směrnice 2003/30/EC podporující trh s biopalivy v EU. Směrnice nastavuje dobrovolné „orientační cíle“ 2% spotřeby biopaliv do roku 2005 a 5,75% do roku 2010. Druhý pilíř je směrnice 2003/96/EC, která dovoluje aplikovat daňové zvýhodnění biopaliv. Každý členský stát může rozhodnout o úrovni zdanění fosilních paliv a biopaliv. Nicméně tato daňová osvobození jsou významnou enviromentální pomocí, a proto jejich implementace členskými státy vyžaduje schválení Evropské komise. Třetím pilířem EU je směrnice 98/70/EC, pozměněná směrnicí 2003/17/EC. Směrnice nařizuje přidávat 5 % ethanolu do paliv z enviromentálních důvodů. Podpora bioenergetiky byla začleněna do Společné zemědělské politiky, hlavně po reformě v roce 2003. Reforma poskytuje farmářům využít výhodu nové možnosti nabízet biopaliva. Speciální dotace 45 Eura na hektar je nyní dostupná pro pěstování energetických plodin na půdě, která byla uvedena

do klidu (tradiční oblasti pěstování potravin). Na zasedání Evropské rady v březnu 2007 byla podepsána závazná dohoda o dosažení 20% podílu energetické spotřeby z obnovitelných zdrojů do roku 2020. Také bylo závazně dojednáno, aby do roku 2020 minimálně 10 % spotřeby benzínu a nafty v dopravě pocházelo z obnovitelných zdrojů (**Anonym 2008**).

Evropská unie přijala rozhodnutí dosáhnout do roku 2020 alespoň 20% snížení emisí skleníkových plynů ve srovnání s rokem 1990. Pro splnění tohoto úkolu navrhla EU do roku 2020 závazné cíle – další zlepšení energetické účinnosti o 20 %, dosažení 20% podílu obnovitelné energie a 10% podílu biopaliv na trhu s pohonnými hmotami v EU. Důvodem je mimo jiné zvýšení bezpečnosti dodávek energie prostřednictvím diverzifikace skladby pohonných hmot (**Miler 2009**).

#### **7.1.4 Podpora biopaliv v ČR**

Bioetanol lze používat na nízkoprocentní přimíchávání do automobilových benzínů, které se řídí zákonem č. 180/2007 Sb. (vychází z evropské směrnice 2003/30/ES) a na vysokoprocentní bioetanolové směsi, zejména palivo E85 skládající se z 85 % bioetanolu a 15 % benzínu Natural 95. Nízkoprocentní přimíchávání bioetanolu do cca 10 % objemových nepřináší pro spalování v motoru téměř žádný problém, a není tedy potřeba žádná úprava motoru. Vysokoprocentní směsi nelze bez úprav spalovat v běžných motorech kvůli nízké výhřevnosti lihu (**Miler 2009**).

### **7. 2. Konkurenční schopnost etanolu**

Pro produkci etanolu – především cukernaté a škrobnaté hlíznaté a kořenové plodiny – se používají např. řepa, čirok cukrový, topinambur, čekanka, brambory, ale také kukuřice (také jako CCM), pšenice a ječmen. Tyto druhy mohou být pěstovány stejně k účelům využití na energii nebo k výrobě průmyslově využitelných surovin. Etanol z rostlinných surovin je základem pro chemický průmysl, stojí zde však v konkurenci se značně levnější syntézou alkoholu na bázi fosilních surovin. Kromě toho je etanol jako dodatek k palivům (5 % přimíchání podle směrnic EHS) nebo jako čisté palivo (100 % v Brazílii). Etanol z rostlinné produkce v současné době ztroskotává, protože není schopen konkurence s benzinem (**Moudrý, Stražil 1998**).

### **7. 3. Výroba alkoholu**

Alkoholovým kvašením cukrů vzniká etanol. Výchozími surovinami jsou produkty obsahující škrob, cukr příp. celulózu. Teoreticky je možno vyrobit z 1 kg cukru 0,65 l čistého etanolu. V praxi je výtěžnost cca 90 – 95 %, protože se vedle etanolu tvoří další produkty, např. glycerin. Fermentace cukrů probíhá v mokřém prostředí, vzniklý alkohol je oddělován destilací. Suroviny obsahující cukr se rozmělní, párou se extrahuje cukerný roztok a ten se fermentuje. K fermentaci se používá kvasnic (1 – 2,5 kg na 100 l) a kvašení probíhá 50 – 70 hodin. Destilací při 78 °C získáme vodu a 95% etanol. U surovin obsahující škrob, je nutné tento škrob nejprve rozložit na zkvasitelné cukry (kyselou hydrolýzou). Ve výpalcích zůstává obsah bílkovin zachován a jde tedy o velmi hodnotné krmivo (**Moudrý, Stražil 1998**).

Kukuřičné zrno poskytuje škroby, nikoliv přímo fermentovatelné cukry (jako např. cukrová třtina). Proto vlastní zrno musí být před fermentací upraveno do podoby zpracovatelné bakteriemi alkoholového kvašení, aby byla zajištěna konverze škrobů na cukry. Celý proces produkce etanolu je potom tvořen těmito fázemi:

- zbavení zrna klíčků,
- mletí (zde jsou tři možnosti – obrušování celého zrna, suché mletí, mokré mletí – poslední z těchto tří je nejdražší, ale také nejflexibilnější, co se týče vedlejších produktů),
- separace endospermu (skýtajícího škrob) od plev,
- vytvoření kašovitě hmoty/zkapalňování,
- hydrolýza škrobu na cukry obvykle enzymem amylázou,
- fermentace, obvykle kvasinkami druhu *Saccharomyces cerevisiae*,
- destilace,
- dehydratace.

Pro zamezení případné konzumace je nutné čistý alkohol dále denaturovat, a to např. přidáním 2 – 5% benzínu (**Fajman 2008**).

#### 7.4 Výtěžnost a energetická bilance alkoholu

Obecně platí, že z jedné tuny zrnin s 65 hmotnostními procenty škrobu lze počítat s výtěžkem 400 l bezvodého alkoholu a 340 kg suchých výpalků. Z 1 ha plochy (s předpokládaným výnosem 8 t zrna) lze pak vytěžit 32 hl bezvodého etanolu a 2,7 t suchých výpalků. Pro představu to znamená, že z hektaru při tvorbě směsi E 85 by cukrovka (obiloviny jsou 3,4x horší) užívala čtyři vozidla ročně (tedy s rezervou jedno vozidlo na hektar kukuřice) (**Fajman 2008**).

Tabulka 11: Výnos etanolu u různých kulturních plodin (**Moudrý, Stražil 1998**).

Druh	Škrob/cukr v % čerstvé hmoty	Výnos t/ha	Výtěžek alkoholu l/100 kg	Výnos alkoholu l/ha
Řepa krmná	9,7	102,66	5,9	6074,4
Řepa cukrová	16,0	47,43	9,8	4658,4
Brambory	18,0	28,43	11,4	3255,2
Kukuřice na zeleno	11,0	47,52	6,7	3188,6
Kukuřice na zrno	65,0	5,82	39,7	2313,4
Pšenice	62,0	4,53	39,3	1782,6
Ječmen	58,0	4,19	36,8	1544,0
Žito	55,5	3,62	35,5	1285,1
Oves	52,0	3,43	33,4	1147,3

#### 7.5 Použití etanolu pro benzinové motory

Přidávání tzv. oxigenátů (např. alkoholů) do automobilových benzinů začalo už ve dvacátých letech. Tehdejší rafinerie byly schopny vyrobit automobilové benziny pouze s nízkým oktanovým číslem. Tento nedostatek se řešil přidáváním metanolu nebo etanolu, jejichž vysoká oktanová čísla podstatně zlepšovala antidetonační vlastnosti benzinů. Později se přešlo na jiné antidetonační přísady. Znovu se problematika otevřela v sedmdesátých letech po prudkém zvýšení cen všech ropných produktů. Opět se začaly do benzinů přimíchávat oxigenáty, alkoholy nebo étery. V současné době jsou vysokoprocentní etanolové směsi využívány ve vozidlech FFV (Flexi Fuel Vehicle). Tato vozidla mohou být provozována jak

na běžný benzin, palivo E85, tak i na libovolnou směs benzínu s palivem E85. Palivo E85 je možné spalovat i v běžných vozidlech, ale je třeba provést jednoduchou úpravu řídicí jednotky motoru, která spočívá v prodloužení doby vstřiku paliva. Cena takovéto přestavby se pohybuje v závislosti na výrobci zařízení a typu vstřikovací soustavy daného motoru v rozmezí 5 – 15 tis. Kč (např. jednotka firmy Europecon s.r.o.). Palivo E85 je běžně k dostání u čerpacích stanic v západní Evropě. V roce 2008 začal náš největší výrobce bioetanolu (Dobrovický Agroetanol TTD, a. s.) vyrábět toto vysokoprocentní palivo i v ČR. Pokud by využil celou produkci bioetanolu na výrobu tohoto paliva, vyrobil by zhruba 700 tis. hl. České čerpací stanice neprojevíly velký zájem prodávat toto palivo. Důvodem byla zejména jeho vyšší cena způsobená relativně nákladnou výrobou bioetanolu a také malý počet automobilů, které ho mohou používat, na našich silnicích. Důležité je přijetí novely zákona o spotřebních daních, která má obsahovat odpočet spotřební daně z podílu biosložky u paliva E85 a dalších biopaliv, čímž dojde k výraznému snížení jejich ceny. Palivo E85 tak bude moci lépe konkurovat automobilovým benzinům. Proto předpokládáme, že zájem o něj výrazně stoupne (Miler 2009).

### 7.5.1 Výhody a nevýhody použití etanolu jako alternativního paliva

Největší výhodou lihových paliv – tedy i etanolu – proti palivům uhlovdíkovým je to, že jejich zdroje jsou prakticky rozloženy rovnoměrně po celé zeměkouli, zatímco více než 50 % zásob ropy je v oblasti Středního východu. Navíc jsou tyto zdroje zcela obnovitelné.

Další výhodou tohoto paliva spočívá ve skutečnosti, že jeho použití v benzinových motorech s sebou přináší snížení koncentrací některých škodlivých složek výfukových exhalací; jeví se proto jako velmi výhodné palivo pro motory používané v oblastech se silným znečištěním ovzduší.

Proti benzinu má etanol některé výhody, které se velmi příznivě projevují při procesu spalování:

- alkoholy hoří při nižší teplotě plamene a svítivosti, takže se vedením a sáláním odvede méně tepla do chladicího okruhu motoru,
- alkoholy hoří rychleji a tím způsobují účinnější vývin točivého momentu,
- spalováním alkoholu se vyvine větší objem spalín a to způsobí vyšší tlaky ve válci motoru.

Hlavní nevýhodou použití etanolu a ostatních alkoholů ve srovnání s benzinem je jejich nízká výhřevnost a tím i vyšší časová a měrná spotřeba paliva a z toho plynoucí potřeba větších palivových nádrží. Tuto nevýhodu lze snížit vhodnější konstrukcí motoru, např. zvýšením kompresního poměru. Další nevýhodou je, že jejich nižší odpařitelnost ztěžuje studené starty. Nevýhoda se odstraňuje přidáním určitého množství benzínu nebo podobných substancí.

Užití bioetanolu sice přináší snížení koncentrací CO a HC, avšak koncentrace aldehydů a NO<sub>x</sub> poněkud rostou. Velkou nevýhodou užití bioetanolu je jeho vysoká výrobní cena. Na tom se shoduje řada autorů. Bez dotací je tato výroba energeticky ztrátová. V USA, Německu, Japonsku a na Novém Zélandě se proto výrobci čistých alkoholů zaměřují spíše na výrobně levnější metanol (Křepelka 1997).



### 7.5.2 Obecné hodnocení směsi benzínu s 10 % etanolu

Z literatury lze vyvodit, že při spalování bezolovnatého benzínu s 10 % etanolu dochází:

- ke snížení emise nespálených uhlovodíků HC o 6 %,
- ke snížení emise oxidu uhelnatého CO o 13 %,
- k nárůstu emise oxidů dusíku NO<sub>x</sub> o 5 %,
- ke snížení emise benzenu o 12 %,
- ke snížení emise 1,3-butadienů o 6 %,
- ke zvýšení emise formaldehydů o 12 %,
- ke zvýšení emise acetaldehydů o 156 %.

Tyto údaje jsou průměrné hodnoty z měření 15 vozidel (**Křepelka 1997**).

### 7.5.3 Přínos spalování paliva E85

Přínos spalování paliva E85, zejména v produkci emisí, byl vyhodnocován pomocí virtuální simulace evropského homologačního jízdního cyklu pro vozidla do 3,5 t. Základ simulace tvořily emisní charakteristiky motoru a charakteristiky spotřeby paliva zjištěné na zkušebním stanovišti. V prvním kroku byly tyto charakteristiky naměřeny při použití automobilového benzínu Natural 95, v druhém kroku bylo použito paliva E85. Speciálním algoritmem, vytvořeným v programu Mathcad, byly jednotlivé body emisních charakteristik a charakteristiky spotřeby paliva transformovány na spojité charakteristiky měřené veličiny (spotřeba paliva a jednotlivé složky emisí) v závislosti na otáčkách a točivém momentu motoru. Dalším speciálním algoritmem byl evropský jízdní cyklus, který definuje průběh rychlosti vozidla v závislosti na čase cyklu, převeden na průběh otáček a točivého momentu motoru v čase cyklu. Do transformace rychlosti cyklu na otáčky a točivý moment motoru byly zahrnuty všechny parametry vozidla, které ovlivňují dynamické vlastnosti vozidla (součinitel odporu valení, čelní plocha vozidla, součinitel odporu vzduchu, jednotlivé převodové poměry atd.). Propojením obou programů vznikla možnost stanovit, k průběhu rychlosti vozidla v jízdním cyklu, produkci okamžitých a kumulovaných hodnot jednotlivých složek emisí. Produkce měrných spotřeb paliva a měrných emisí vztažená na jeden ujetý kilometr pro jednotlivé části jízdního cyklu NEDC je přehledně uvedena v tab. 12. Je zde také uvedena kombinovaná hodnota měrných spotřeb paliva a měrných emisí určená váhovým průměrem měrné produkce z městské a mimo-městské části cyklu. Městská část je zastoupena 36,8 % a mimoměstská část 63,2 % (**Miler 2009**).

Tabulka 12: Produkce měrných spotřeb paliva a měrných emisí vztažená na jeden ujetý kilometr pro jednotlivé části jízdního cyklu NEDC (**Miler 2009**)

Měřené emise	Městská část cyklu	Mimoměstská část cyklu	Kombinovaný provoz
Spotřeba paliva E 85 (g.km <sup>-1</sup> )	92,25	52,62	67,20
Spotřeba paliva Natural 95 (g.km <sup>-1</sup> )	63,56	35,62	45,90
CO <sub>2</sub> na palivo E 85 (g.km <sup>-1</sup> )	218,6	122,8	158,05
CO <sub>2</sub> na palivo Natural 95 (g.km <sup>-1</sup> )	225,5	126,7	163,06
CO na palivo E 85 (g.km <sup>-1</sup> )	0,27	0,26	0,26
CO na palivo Natural 95 (g.km <sup>-1</sup> )	0,43	0,33	0,37
HC na palivo E 85 (mg.km <sup>-1</sup> )	2,59	1,49	1,89
HC na palivo Natural 95 (mg.km <sup>-1</sup> )	3,2	1,86	2,35
NO <sub>x</sub> na palivo E 85 (mg.km <sup>-1</sup> )	17,25	17,42	17,36
NO <sub>x</sub> na palivo Natural 95 (mg.km <sup>-1</sup> )	24,39	25,46	25,07

Výsledky provedeného experimentu ukazují na relativně vysoký nárůst spotřeby paliva při použití paliva E85, který je zapříčiněn nižší výhřevností ethanolu tvořící základ paliva E85. Při kombinovaném způsobu provozu vzroste hmotnostní spotřeba paliva o 46,4 %. Výrazný nárůst spotřeby paliva nelze považovat za negativní jev, je však nutné s nárůstem spotřeby paliva kalkulovat při stanovování ceny paliva E85. Přepočítaná cena na energetický ekvivalent benzínu musí být konkurenceschopná. Přímý pokles v produkci CO<sub>2</sub> je relativně nízký, viz. obr. 3 a obr. 4, jeho pokles je nutné hledat ve způsobu výroby ethanolu jako bio-paliva. V České republice připadají jako nejvhodnější plodiny pro získávání bioetanolu cukrovka a obiloviny. Z těchto dvou jmenovaných plodin přináší cukrová řepa větší úsporu v produkci CO<sub>2</sub> (cukrovka přibližně 40 – 45 %, obiloviny 25 – 30 %). Z hlediska úspory produkce CO<sub>2</sub> přinášejí největší přínos biopaliva druhé generace vyráběná z lignocelulózy, jejich výroba je však technicky poměrně náročná, proto je v současné době technologie výroby těchto biopaliv předmětem rozsáhlého výzkumu. Výrazný přínos je i v produkci přímo limitujících škodlivin, oxidu uhelnatého, nespálených uhlovodíků a oxidů dusíku. Produkce oxidu uhelnatého při spalování paliva E85 poklesne o 30 %, produkce nespálených uhlovodíků poklesne o 21 % a produkce oxidů dusíku poklesne o 31 %, uvažujeme-li o kombinovaném způsobu provozu.

Výše provedený rozbor experimentu ukazuje na výrazný ekologický potenciál paliva E85. Hlavní nevýhodu bránící jeho širšímu rozšíření představuje cena výsledného biopaliva, která se neobejde bez státní dotace. Jednou z možností jak snížit cenu paliva je odpočet spotřební daně na podíl biosložky. Přínos ve výsledné ceně však, při současných nízkých cenách ropy, nemusí být dostačující. Do budoucna by bylo vhodné hledat i jiné způsoby jak podpořit cenu bioetanolu. Rozšíření využívání paliva E85, může přinést výrazné snížení ekologických dopadů dopravy na životní prostředí, snížit závislost na dovážené ropě a přinést další výrobní možnosti pro zemědělce a cukrovary (Miler 2009).

## 7.6 Biobutanol jako kvalitní náhrada benzínu

Butanol je čtyřuhlíkový alkohol, který se vyrábí hydratací butanu nebo kvasným procesem z biomasy. Je až o třetinu výhřevnější než etanol a jen o pět procent méně výhřevný než benzin, se kterým se může mísit v širokém poměru. Při motorových zkouškách byly prokázány jeho velmi dobré palivové vlastnosti.

Butanol je v současné době především významným průmyslovým ředidlem, vyráběným převážně hydratací butanu, vedlejšího produktu z ropy. Lze jej ale získat i kvasným procesem z biomasy. Na podkladě požadavku a trendu částečné náhrady fosilních paliv biopalivy se zejména v USA a Velké Británii realizovaly výzkumné práce, jejichž výsledky již některé významné společnosti (Du Pont, BP) zavádějí do výroby a distribuce pohonných hmot.

Biobutanol se začal vyrábět již v roce 1916 v Anglii metodou ABE. Tato biotechnologie je založena na fermentaci zrnin pomocí mikroorganismů *Clostridium acetobutylicum*. Hlavním požadovaným produktem byl tehdy aceton, ale na každou objemovou jednotku acetonu vznikly i dvě jednotky butanolu. S rostoucí potřebou průmyslových ředidel v automobilovém průmyslu se ale postupně stal hlavním výrobkem butanol a aceton výrobkem vedlejším. Podíl butanolu je však v konečném produktu velmi nízký, většinou kolem 15 %, výjimečně kolem 25 %. Podíl je limitován biologicky, neboť butanol i při nízké koncentraci 1,5 až 2 % inhibuje růst a činnost mikroorganismů a zastavuje fermentační proces.

Pracovně náročná „dávková“ fermentace suroviny v nádržích spojená s relativně nízkou výtěžností byly příčinou postupného úpadku tohoto způsobu výroby butanolu. Nová situace nastala až objevem mikroorganismů odolnějších vyšší koncentraci butanolu a umožňujících vyrábět především butanol. Jde o nově upravené bakterie *Clostridium tyrobutyricum* a nově vyšlechtěné odrůdy bakterií *Clostridium acetobutylicum* firmou EEI (Blacklick, Ohio, USA). Ty v návaznosti na sebe zajišťují produkci butanolu v množství 4,64 g/l/h při výtěžnosti z glukózy 42 – 45 %. Zjednodušeně řečeno: jeden mikrob maximalizuje přeměnu glukózy ( $C_6H_{12}O_6$ ) na vodík a kyselinu máselnou – a druhý mikrob mění tyto meziproducty na butanol ( $C_4H_9OH$ ). Schéma výroby je poměrně jednoduché, ale technologické zařízení je naopak složité a zásadně se liší od zařízení na výrobu etanolu: Výroba je kontinuální, ve dvou fermentorech spojených čerpadlem a potrubím. Na ně navazuje zařízení pro oddělení butanolu od ostatního materiálu a z velké části vody pomocí odstředivek, polopropustných membrán, protiproudého čištění pomocí horkého  $CO_2$  atd. Výsledkem fermentace je postupně: kyselina máselná, vodík, butanol,  $CO_2$  a  $H_2O$ . Ke konečné destilaci přichází butanol jen s 10% obsahem vody, což je energeticky výhodné. Výtěžek biobutanolu je v porovnání s bioetanolem až dvojnásobný. Například ze 100 kg kukuřice se vyrobí až 38 litrů. Navíc volný vodík vznikající v první fázi může zlepšit energetickou bilanci až o 18 procent.

První pokusy s biotechnologickou výrobou etanolu jako pohonné hmoty začaly po roce 1970. Průmysl technologii postupně zvládl, ale problém je především nákladná dehydratace bioetanolu (až na 99,6 %), která je nezbytná před jeho přimíchávání do benzínu. Potíže jsou i v logistice: bioetanol působí vysoce korozivně, což prakticky vylučuje jeho dopravu ve stávajících zařízeních.

S výjimkou Brazílie, kde jsou vyjímečné přírodní podmínky, a USA, kde zase mají velké zemědělské přebytky a podporují biopaliva všeho druhu, probíhá ve světě proces zavádění biopaliv na bázi etanolu relativně pomalu. Butanol je čtvrtý v řadě základních alkoholů (metanol, ethanol, propanol, butanol). Jeho molekula má čtyři uhlíky, tedy dvakrát více než ethanol, což znamená vyšší energetickou hustotou a asi o 25 % vyšší výhřevnost.

Výhřevnost butanolu a vodíku z biomasy (butanol: 15,5 BTU/libra, resp. 104,8 BTU/galon, resp. 34,4 MJ/kg, vodík: 61 BTU/libra, resp. 153,6 MJ/kg) převyšuje obdobné ukazatele u etanolu (12,8 BTU/libra, resp. 84,25 BTU/galon, resp. 22,2 MJ/kg). Butanol neprodukuje  $SO_x$ ,  $NO_x$  a  $CO$ , což jsou spaliny škodící zdraví. Produkované  $CO_2$  a  $H_2O$  se jen vrací do ovzduší, ze kterého byly zpracovávanými rostlinami přijaty v době vegetace. Butanol není tak hydrofobický jako ethanol a je tedy i méně korozivní pro kovové nádrže a potrubí. Může být dopravován běžnými a již existujícími produktovody, cisternami a distribuován jen částečně upravenými čerpacími stanicemi. Butanol je z hlediska manipulace bezpečnější. Fluidní hodnota odpařování  $\psi$  (dle Reida) je u butanolu 0,33, u ethanolu 2 a u benzínu 4,5. Jako motorové palivo je vhodný zejména pro teplejší oblasti. Butanol může být jak přimícháván do fosilních motorových paliv, tak používán samostatně jako pohonné palivo v motorech s vnitřním spalováním. Svými vlastnostmi se přibližuje k benzínu více, než ethanol (Sladký 2010).

Tabulka 13: Porovnání vlastností alkoholů jako motorové pohonné hmoty (Sladký 2010)

Alkohol	Chemická značka	Výhřevnost BTU/galon	Oktanové číslo	Vzduch/palivo při hoření	Fluidní hodnota $\psi$
Methanol	CH <sub>2</sub> OH	63	91	6,6	4,6
Etanol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	84	92	9	2
Butanol	C <sub>4</sub> H <sub>9</sub> OH	110	94	11–12	0,33
Benzín směs		115	96	12–15	4,5

Vlastnosti butanolu jako paliva byly prokázány i v provozu. Například již v roce 2005 vyrobila firma EEI v USA potřebné množství butanolu k tomu, aby mohla být uskutečněna srovnávací dálková jízda na několik tisíc kilometrů automobilem Buick Park Avenue (šestiválec, obsah 3,5 litrů). Průměrná spotřeba butanolu byla necelých 10 litrů na 100 km. Výsledky měření emisí během jízdy byly vesměs mnohem příznivější, než při spalování benzínu: Emise uhlovodíků byly nižší o 95 %, emise CO o 97 % a emise NO<sub>x</sub> o 27 %.

V současné době vznikají v mnoha vyspělých zemích, zejména v USA, přebytky „nízkohodnotné“ biomasy ze zemědělské výroby. Jejich odstraňování nebo zpracování je nutné z hlediska ochrany životního prostředí. Například jen při čištění a zpracování kukuřice v USA se produkuje ročně více než 10 mil. tun vedlejších výrobků a odpadů, pro které není využití. Obdobně mlékárenský průmysl v USA produkuje ročně až 27 mil. tun odpadové syrovátky při výrobě sýrů s relativně vysokým obsahem cukru, pro kterou rovněž není většinou využití a jejíž likvidace vyžaduje značné náklady. Tyto i další odpady mohou být levným zdrojem pro výrobu vodíku a palivových alkoholů, například butanolu. V USA se předpokládá rozvoj výstavby výroben butanolu na venkově s kapacitou výroby od 5 do 30 mil. galonů ročně (tj. do 1,14 mil. hl/rok), a to formou sdružení obcí a zemědělských podniků obvykle rekonstrukcí některých místních lihovarů a cukrovarů. Tyto lokální „biorafinerie“ mohou snáze překonávat různé omezující překážky a problémy s ochranou ovzduší a životního prostředí a obranou před teroristy. Kooperativně organizované podniky vytvoří řadu nových pracovních příležitostí a podpoří ekonomický růst v oblasti. Výhledově lze butanol vyrábět i fermentací listů a jiné „odpadní“ biomasy. Nadějný je vývoj technologie výroby butanolu z upraveného bioplynu v bioplynových stanicích. Důležité je, aby vstupy fosilní energie do výroby biopaliva byly nižší než jeho energetická výtěžnost (Sladký 2010).

## 8. Využití kukuřice k výrobě škrobu

Škrob je bílý nebo slabě nažloutlý prášek bez chuti a zápachu. Jednotlivá škrobová zrna nebo jejich shluky se jeví pod mikroskopem velmi zřetelně a charakteristická je nejen jejich rozdílná velikost, ale i tvar a vrstvení. Škrob je ve studené vodě nerozpustný. Kukuřičný škrob tvoří, podobně jako škrob ovesný a rýžový, velmi často zrna složená, skládající se z velkého počtu zrnek jednoduchých, zakulacených, kulatých nebo mnohostranných. Ve vnitřní (moučné) části kukuřičného zrna se vyskytují škrobová zrna jednoduchá, ve vnější sklovité části jsou však jednotlivá škrobová zrnka na sebe přilehlá, takže tvoří zdánlivě velká zrna nepravá. Ve škrobárenské praxi se pod pojmem kukuřičný škrob rozeznává kukuřičný škrob vlhký o sušině 50 % a kukuřičný škrob suchý o sušině 86 – 88 % (Žáček et al. 1963).

Základem průmyslového zpracování kukuřice jsou dva technologické procesy – tzv. suché a mokré mletí zrna. Technologie suchého mletí kukuřice je výchozím postupem používaným hlavně k získání produktů a meziproductů pro potravinářské účely. Výsledkem procesu suchého mletí jsou frakce endospermu s různou velikostí částic jako hlavní produkt a kukuřičné klíčky a otruby jako produkty vedlejší. Extrahovaný kukuřičný šrot z kukuřičných klíčků se vyznačuje vysokým obsahem bílkovin a nižším obsahem škrobu a doporučuje se přednostně ke zkrmování přežvýkavcům. Kukuřičné otruby jako vedlejší produkt suchého mletí jsou bohaté na hrubou vlákninu a díky dobré stravitelnosti se mohou využívat i při krmení prasat. Při mokřém mletí se z kukuřičného zrna separují jednotlivé složky: vláknina, bílkoviny, klíčkový olej a škrob (**Vaculová, Balounová 2008**).

Výrobní postup při výrobě kukuřičného škrobu je rozdělen do těchto fází: čištění kukuřice, máčení kukuřičného zrna v nasířené vodě za účelem uvolnění rozpustných látek a nabobtnání zrna, hrubé mletí – uvolnění klíčků od zrna, oddělení klíčků od rozdrčeného zrna, jemné mletí – uvolnění škrobu, oddělení škrobu proséváním od vlákniny, sedimentace škrobu a oddělení gluténu, promývání škrobu – oddělení rozpustných látek, předsoušení a sušení škrobu.

Při výrobě vlhkého kukuřičného škrobu se kromě škrobu získávají ještě vedlejší produkty:

- kukuřičný výluh (corn steep) – pro výrobu antibiotik a krmné účely,
- kukuřičný olej – surovina pro výrobu jedlých a technických olejů,
- kukuřičný glutén – pro výrobu bílkovinných hydrolyzátů,
- kukuřičné mláto – pro výrobu Auerovitu 12 a krmné účely (**Žáček et al. 1963**).

Ve světovém měřítku převažuje produkce kukuřičného škrobu (83 %). Hlavním producentem jsou USA s roční produkcí 25 mil. tun kukuřičného škrobu. Pšeničný a bramborový škrob zaujímá shodně 6 %. Tyto škroby produkují především země EU a ostatní země (**Součková, Moudrý et al. 2006**).

Tabulka 14: Objem produkce škrobu dle surovin ve světě (v milionech tun) (**Součková, Moudrý et al. 2006**)

	<b>Kukuřice</b>	<b>Brambory</b>	<b>Pšenice</b>	<b>Ostatní</b>	<b>Celkem</b>
EU	3,9	1,8	2,8	0,0	8,4
USA	24,6	0,0	0,3	0,0	24,9
Ostatní země	10,9	0,8	1,1	2,5	15,2
Svět	39,4	2,6	4,1	2,5	48,5

V posledních letech se v Evropě ustálil poměr spotřeby škrobů na 50 % kukuřičného, 25 % pšeničného a 25 % bramborového. V severnějších oblastech včetně ČR ale pochopitelně výrazně klesá podíl spotřeby kukuřičného a převládá zde spotřeba obilních škrobů. V ČR se kukuřičný škrob nevyrábí (**Součková, Moudrý et al. 2006**).

Zapravením kukuřičného škrobu do umělých hmot je urychlován rozpad starých plastů v přírodě. Na rozdíl od normálních plastů, které potřebují pro svůj rozklad celá staletí, materiály vyrobené z kukuřice jen okolo 45 dní. Kukuřičné plasty neobsahují ropné látky a při jejich výrobě se spotřebuje o 20 – 50 % méně fosilních paliv. Vyrábí se z nich např. zemědělské fólie, kelímky, sáčky na odpadky, obaly na arašidy a další (**Vaculová, Balounová 2008**).

## 9. Využití kukuřice ke krmným účelům

Kukuřice je typickým tukotvorným krmivem s poměrně vysokou energetickou hodnotou. Pro nízký obsah vlákniny má vysokou stravitelnost. Ve srovnání s pšenicí, popř. s některými ostatními obilovinami má nižší obsah dusíkatých látek a protein kukuřice má poměrně nízkou biologickou hodnotu. Z minerálních látek je kukuřice chudá na vápník. Hodnotnější jsou odrůdy se žlutým zrnem, které jsou bohatější vitamíny, zvláště karotenem. Vzhledem k částečnému obsahu organických barviv se při vyšším použití kukuřice ve výživě zlepšuje u zvířat zbarvení pokožky, žloutků vajec apod. Kukuřice má obecné využití k výživě všech druhů a kategorií zvířat, ale především se využívá pro drůbež ke zvýšení energetické hodnoty směsí, ať se již jedná o nosnice, brojlerů, housata, krůtata. Hodí se i pro výkrm skotu, kde se příznivě uplatňuje její vliv na měknutí tuku. Z toho důvodu není vhodná ve větší míře pro výkrm prasat, a to zvláště ke konci výkrmu (**Veselý 1987**).

Má vysoký obsah BNVL s vysokým zastoupením škrobu – více než 75 %. Mimo to obsahuje podobně jako oves až 5 % tuku. Tuk kukuřice je tvořen převážně z nenasycených mastných kyselin, proto je zvláště při našrotování snadno oxidovatelný, žlukne, zhoršuje se chutnost kukuřičného šrotu a energetická úroveň kukuřice se zhoršuje. Obsah hrubého proteinu v kukuřici je nejnižší ze všech běžných obilnin, asi 9 – 9,5 % (**Mudřík 1998**).

### 9.1 Silážní kukuřice

Kukuřičná siláž je nejvýznamnější energetické krmivo, které sehraává 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. Silážní kukuřice patří ke snadno silážovatelným krmivům, neboť obsahuje dostatek vodorozpustných sacharidů (15 – 30 % v 1 kg sušiny), má nízkou pufrací kapacitu (nízký obsah dusíkatých látek, bazických prvků a dusičnanů). Z těchto důvodů lze vyrobit kvalitní kukuřičnou siláž při dodržení všech technologických podmínek i bez použití silážních aditiv. Kukuřičná siláž vzniká fermentací vodorozpustných sacharidů obsažených v silážní biomase kukuřice za anaerobních podmínek. Fermentačním procesem dochází ke vzniku organických kyselin, zejména kyseliny mléčné a octové. Současně vzniká i minoritní množství alkoholu. Fermentací sacharidů a produkcí kyseliny mléčné dochází již na začátku fermentace ke snížení pH, která se pohybuje u kukuřičných siláží v rozmezí 3,7 – 4,4. Při silážování kukuřice je nutné, vzhledem k významu tohoto krmiva a zlepšení výsledné kvality siláže, věnovat patřičnou pozornost mnoha důležitým aspektům, zejména:

- výběru vhodných odrůd s ohledem na způsob využití a agrotechnickým podmínkám,
- faktoru silážní zralosti a jeho určení,
- faktoru stravitelnosti organické hmoty nejen celé rostliny, ale i jejího zbytku,
- podílu palice na sušině celé rostliny,
- složení epifytní mikroflóry silážní kukuřice – problém kvality fermentace a klíč ke zlepšení hygienických vlastností,

- způsob sklizně a konzervace silážní hmoty (siláž celé rostliny, produkty z dělené sklizně kukuřice – LKS, CCM, silážovaná drť mačkaného nebo šrotovaného vlhkého zrna),
- otázce výběru a aplikace silážních aditiv pro zlepšení průběhu fermentace a aerobní stability siláží,
- možnost zlepšení využití škrobu a snížení celkových skladovacích ztrát.

K dosažení dobré kvality kukuřičné siláže je nutné respektovat základní technologické požadavky na sklizeň, konzervaci a skladování:

- optimální růstové fáze sklizené kukuřice určené k silážování,
- optimální obsah sušiny silážní kukuřice (28 až 34 %), optimální délka řezanky v závislosti na obsahu sušiny a stupni zralosti,
- dodržování zásad technologického postupu,
- aplikace účinných konzervačních prostředků.

Silážní kukuřici lze sklízet a konzervovat několika způsoby:

- sklizeň a silážování celé rostliny,
- sklizeň silážní kukuřice s vyšším strništěm (30 až 50 cm),
- dělená sklizeň kukuřice s využitím palice, resp. jejích částí (LKS, CCM, vlhké zrno),
- silážování kukuřičné slámy z dělené sklizně jako alternativního krmiva,
- systém alkage,
- silážování vlhkého zrna kukuřice:
  - celozrnná siláž v atmosféře oxidu uhličitého (autokonzervace),
  - siláž mačkaného vlhkého zrna,
  - siláž hrubě pošrotovaného vlhkého zrna.
- chemická konzervace vlhkého zrna v aerobních podmínkách
  - louhování vlhkého zrna (sodagrain),
  - chemická konzervace vlhkého zrna přípravky na bázi organických kyselin.

Kukuřičná siláž patří mezi lehce stravitelná krmiva s nízkým obsahem degradovatelných NL. Nízký obsah N – látek (8 – 9 %), dále Ca a P, vitamínů A, D a beta – karotenu je nutné v krmných dávkách kompenzovat bílkovinnými nebo jadřnými krmivými. Lepší nutriční hodnotu, zejména vyšší koncentraci energie a menší koncentraci vlákniny, mají kukuřičné siláže s větším obsahem sušiny. Tyto siláže mají i vyšší obsah BNLV, jejichž hlavní složku tvoří škrob. Zdrojem energie u silážních hybridů kukuřice není jen škrob, i když patří k hlavním zdrojům, ale také stravitelná vláknina, zejména zbytku rostliny, která je velmi důležitá z hlediska zdraví bachorového trávení dojníc. Z tohoto důvodu dobrý zrnový hybrid s vysokou stravitelností škrobu a horší stravitelností vlákninového komplexu nemusí být zrovna ideální rostlinou pro silážování. Proto na správném výběru vhodného silážního hybridu závisí nejen celková produkce biomasy a energie z 1 ha plochy, ale také množství stravitelných organických živin a v konečné podobě i omezení rizika acidóz u skotu. Nejvýhodnější termín sklizně silážní kukuřice z krmivářského hlediska je na konci těstovité zralosti zrna (sušina rostliny 28 – 34 %), kdy končí syntéza škrobu v zrnech a je dosažena nejvyšší koncentrace energie v celé rostlině. Platí zásada, že čím je vyšší obsah sušiny silážní kukuřice, tím kratší musí být délka řezanky (< 10 mm a je nutné zajistit narušení zrna i stébla (použití corn crackeru). Délka řezanky se musí uzpůsobit obsahu sušiny (při sušině < 30 % se doporučuje řezanka dlouhá 15 – 20 mm, při sušině > 32 % až 34%

6 – 8 mm). Při krmení kukuřičnou siláží s vyšším obsahem sušiny (32 – 34 %) se dostává větší podíl škrobu do tenkého střeva, což je příznivější a efektivnější pro vlastní metabolismus sacharidů. Délka řezanky silážní kukuřice podmiňuje úspěšnost dalšího technologického kroku – dusání, který opět významně rozhoduje o výsledné kvalitě fermentačního procesu, úrovni ztrát, prevenci tepelného poškození a hygienické jakosti siláží. Při tradičním silážování ve žlabech se doporučuje, aby měřítkem intenzity dusání byla měrná hmotnost sušiny, která by měla být větší než 180 – 200 kg/m<sup>3</sup> prostoru. Dokonalé a včasné zakrytí silážního prostoru významnou měrou ovlivňuje výslednou kvalitu siláží. Je nezbytné, aby se zabránilo přístupu vzduchu do skladovacího prostoru. Každý průnik vzduchu a vody znamená vždy znehodnocení siláže. Oxid uhličitý, který vzniká v počáteční – respirační fázi kvašení má velký technologický dopad, neboť napomáhá k vytvoření anaerobního prostředí a ukončuje ztráty. Oxid uhličitý patří k nejvýznamnějším kvasným plynům. V silážích může být zastoupen v rozmezí od 5 do 12 % a úzce souvisí s precizním zakrytím silážního skladu. Dokonalé zakrytí žlabu se pozná, když dojde brzy po zasilážování k nafouknutí fólie (Doležal, Zeman 2008).

## 9.2 Silážované produkty z dělené sklizně kukuřice

Silážované produkty z dělené sklizně kukuřice jsou hrubě pošrotované olistěné palice včetně vřeten (LKS) nebo pošrotovaná směs palic s vřeteny bez listenů (CCM). Sklizeň kukuřice touto metodou se provádí v době, kdy je největší podíl živin (škrobu) transformován do palic a nepodstatný podíl zůstává ve zbytku rostlin, zejména sacharidy. Tyto silážované produkty jsou sacharidová, energeticky velmi bohatá krmiva, obsahující vysokou koncentraci energie (KE více než 7,5 – 8 MJ NEL), s nízkým obsahem vlákniny, N – látek (méně než 8 %) a vysokým obsahem škrobu, jehož bachorová degradovatelnost je relativně nižší (50 – 60 %) než u tradiční kukuřičné siláže. Nižší bachorová stravitelnost škrobu těchto siláží vede k většímu přenosu škrobu do tenkého střeva.

Silážová drť zrna kukuřice:

sušina 60 až 70 %, 8,0 – 9,2 MJ NEL/kg, vlákniny do 35 g/kg sušiny lyzin do 3 g/kg sušiny, degradovatelnost škrobu je 55 – 88 %.

Silážovaná drť palic bez listenů (CCM):

sušina 60 až 70 %, 8,0 MJ NEL/kg, vlákniny do 60 až 70 g/kg sušiny lyzin do 2,6 g/kg sušiny, degradovatelnost škrobu je 60 – 85 %.

Silážovaná drť palic s listeny (LKS):

sušina 50 až 60 %, 7,2 – 7,7 MJ NEL/kg, vlákniny do 80 až 120 g/kg sušiny lyzin do 2,2 g/kg sušiny, degradovatelnost škrobu je 65 – 90 %.

V rámci systému sklizně a konzervace kukuřice metodou dělené sklizně byly formulovány potřebné požadavky na samotnou sklízecí techniku:

- musí zabezpečit důkladné promíchání zrna a vřeten nejen při vlastní sklizni, ale také při naskladnění,
- dávkovací zařízení musí zaručit rovnoměrné pošrotování hmoty s dostatečně vysokou průchodností a vyrovnaností jemnosti šrotu,
- vysoký podíl vřeten v palicích a stoupající obsah sušiny vyžaduje jemnější strukturu šrotu (nutné použít zařízení corn cracker),
- dobré ostří ústrojí a síta zlepšují jemnost šrotu, zvyšují průchodnost a snižují nároky na výkonnost stroje,
- u CCM šrotu při pneumatické dopravě dochází při naskladňování k autosegregaci – rozdělení částic podle velikosti,



- pro zvýšení výkonnosti linek (více než 15 t/h) se používají v zemědělském podniku buď šrotovací zařízení stabilní nebo mobilní s vysokým motorovým výkonem.

Porovnání CCM a LKS. Hlavními přednostmi jsou:

- vyšší výnos živin metodou LKS ve srovnání se systémem CCM asi o 5 – 10 % energie (vliv podílu vřeten a listenů), neboť samotné zrno tvoří asi 70 % celkové sušiny hmoty,
- časnější sklizeň než při tradiční kombajnové sklizni /upřednostnit kvalitní hybridy odolné vůči fuzariózám),
- ekonomicky efektivnější je silážování než sušení těchto produktů,
- možnost uplatnění i ve výše položených oblastech,
- příznivější krmivářské hodnoty ve srovnání se siláží celé kukuřice (CCM 5 – 7 % vlákniny v sušině, LKS 10 – 12 %),
- možnost využití (CCM) i ve výkrmu prasat, ale také u vysokoužitkových dojnic a u intenzivního výkrmu,
- LKS si uchová strukturální charakter, CCM nikoliv,
- vyšší koncentrace energie než u běžných obilovin,
- dobrá a kapacitně dostatečná mechanizace sklizně, konzervace, nízké náklady na konzervaci a skladování a odběr ze sil,
- relativně nízké ztráty sušiny fermentací, které zpravidla nepřevyšují 5 – 6 %,
- při dobré úrovni fermentace také bezproblémový příjem a způsob krmení (pevné, tekuté),
- LKS patří k objemným krmivům s vyšší koncentrací energie a svým příznivým výživovým složením může nacházet perspektivní uplatnění ve výživě vysokoprodukčních dojnic, zejména v první fázi po porodu, a také u intenzivně vykrmovaného skotu,
- od přípravy CCM v pravém slova smyslu se v zemědělské v praxi zpravidla již upustilo. Vzhledem k redukované fermentaci a odlišnému živinovému složení a obsahu sušiny může být LKS i CCM velmi nestabilním či rizikovým krmivem, zejména v teplejší části roku,
- největším problémem je zvýšené riziko polních plísní, ale také aerobní nestabilita, zahřívání a mikrobiální znehodnocení. Při konzervaci je nezbytné použití účinných silážních aditiv na posílení aerobní stability. Sklizenou hmotu je nezbytné ihned silážovat, neboť každé meziskladování způsobuje její znehodnocení.

Při sklizni a konzervaci kukuřice metodou LKS je doporučená vlhkost 40 – 50 %. V tomto rozmezí proběhne v silážované biomase úspěšný kvasný proces a siláž je nejvhodnější i z nutričního hlediska. Nejčastějším nedostatkem v praxi jsou LKS siláže s vysokým obsahem sušiny, to vede k neúspěšné fermentaci a siláže jsou velmi citlivé na zahřívání, plesnivění a aerobní kažení. Jemnost šrotované kukuřice má zásadní význam pouze u produktu CCM, který je zkrmován prasatům ve výkrmu. Především při silážování do žlabu nebo věži bez horního vybíracího zařízení musí být jemnost šrotu taková, aby minimálně 80 % všech částic bylo menších než 2 mm. Uvedené siláže nejsou vhodné do krmných dávek jalovic, dojnic ke konci laktace nebo v době stání na sucho (**Doležal, Zeman 2008**).

### 9.3 Silážování vlhkého kukuřičného zrna

Při této metodě se využívají hermeticky dokonale těsné věže. Se speciální epoxypolyamidovou povrchovou úpravou. Princip této metody spoívá v autokonzervaci CO<sub>2</sub>, který vzniká při dýchání naskladněného vlhkého zrna. Oxid uhličitý je nutné při naskladnění zrna do uskladněné hmoty ještě přidat ze zásobníku, aby se urychlil proces autokonzervace. CO<sub>2</sub> je 50x těžší než vzduch, a proto vzduch ze sila snadno vytěsňuje. Touto metodou lze uskladňovat celé vlhké zrno kukuřice, tak i zrno šrotované. Uvedená autokonzervovaná siláž není stabilizována a po odběru podléhá velmi rychlému mikrobiálnímu znehodnocení. Tento produkt je velmi vhodný pro výkrm prasat, ale také ve výživě skotu (**Doležal, Zeman 2008**).

Kukuřičné zrno se při vybírání ze skladovacího prostoru šrotuje nebo mačká (pro skot). Optimální skladovací vlhkost bývá závislá na způsobu mechanického zpracování zrna po vyskladnění, tedy před jeho zkrmením zvířatům (resp. bývá závislá na fyzikálních vlastnostech způsobující nalepování sešrotovaných zrn po obvodu vany šrotovníku nebo v dopravním potrubí). Šrotovníky pracují nejlépe u kukuřičného zrna 18 – 24 %. Šrotování kukuřičného zrna lze provádět do vlhkosti cca 32 %, mačkání až do vlhkosti 42 % (poznámka autora: uvedené údaje nejsou ověřené) (**Loučka 1998**).

### 9.4 Kukuřice v krmných směsích

Kvalitní kukuřice může být zařazeno do krmných směsí i 60 – 70 %. Při vysokém podílu této komponenty se směsi obtížně granulují. Maximální přijatelná vlhkost je 15,5 %, minimální hektolitrová hmotnost 67 kg. Rizikový je obsah plísní a mykotoxinů, možnost u kukuřice pak závisí na stupni kontaminace. Hladina alfatoxinu nesmí, stejně jako u ostatních obilnin, překročit 0,02 mg/kg. Při šrotování se její zrna lámou na oříškové části, které jsou pro zvíře atraktivnější než např. jemné pšeničný šrot.

Kukuřičný gluten je vedlejší produkt při výrobě kukuřičného škrobu. Je to zlatě oranžová moučka, která obsahuje 67 % dusíkatých látek s limitující aminokyselinou lysinem. Při vlhkém mletí se po odstranění zárodku a vlákniny (slupky) kukuřičného zrna v odstředivce gluten oddělí od škrobu. Kukuřičný gluten je zdrojem přírodních pigmentů, důležitých pro zbarvení žloutku a kůže brojlerů. Do krmné dávky pro brojlerů se zařazuje množství 5 – 15 % a pro nosnice 5 – 10 % (**Zelenka 2006**).

## 10. Závěr

Obiloviny jsou nejrozšířenějšími kulturními plodinami a kukuřice je nejvýkonnějším druhem. Její využití v energetice a průmyslu je umožněno několika faktory. Díky šlechtění, technologickému pokroku v pěstování a zvyšování výnosů na jednotku plochy, nepotřebujeme pro výživu lidí a výkrm hospodářských zvířat takové plochy orné půdy jako dříve. Tato půda je často uvedena do klidu a tento proces je dotován. Využitím této půdy pro produkci energetických plodin vyřešíme několik problémů najednou. V první řadě nebudeme muset platit farmářům za to, že neobhospodařují půdu. Lidstvo může tuto půdu využít pro produkci obnovitelných zdrojů energie, což sníží a možná postupně odbourá naši závislost na fosilních palivech. Tím se zmírní i globální oteplování, protože CO<sub>2</sub> uvolněný při spalování rostlin (bioplynu a biopaliv) bude recirkulován v dalším cyklu pěstování těchto rostlin. Při zvýšení zemědělské produkce se také sníží nezaměstnanost.

V dnešní době nejsou biopaliva konkurence schopná, takže potřebují nějakým způsobem podpořit. Ať už se bude jednat o osvobození od spotřební daně v případě biopaliv nebo zvýhodněných výkupních cen elektřiny, popř. jiné způsoby. Faktem zůstává, že fosilních paliv ubývá, a proto jejich cena neustále roste. Je téměř jisté, že jednoho dne bude výroba energií a paliv z obnovitelných zdrojů konkurence schopná i bez dotací, protože se předpokládá technologický pokrok v tomto oboru a lidstvo nebude mít mnoho jiných alternativ.

V Německu pokročili v tomto trendu asi nejvíce. Existuje zde několik set bioplynových stanic a jejich počet se bude zvyšovat, neboť německá vláda se rozhodla v několika příštích letech omezit atomové elektrárny a chybějící kapacity bude muset něčím nahradit. V zemi se také nachází několik tisíc fotovoltaických elektráren, ale ty jsou závislé na počasí a denní době. Výroba elektřiny z bioplynu by mohla tyto nedostatky kompenzovat.

V automobilovém průmyslu se vyrábějí vozy, které jsou schopné využívat biopaliva jako je E85 a E95. Zvláště ve Švédsku si toto palivo získalo mnoho příznivců. V ČR není zatím toto palivo standardně nabízeno na čerpacích stanicích. Je dostupné zhruba na několika desítkách čerpacích stanic. Tento důvod zřejmě nejvíce brzdí nárůst uživatelů těchto paliv, protože v porovnání s benzínem Natural 95 je levnější, i když mírně zvyšuje spotřebu vozidla.

## 11. Seznam použité literatury:

Anonym (2008): State of food and agriculture. FAO, ISBN 978-92-5-105980-7, s. 12, 24, 30, 32 a 33.

BAČÍK O.: Bioplynové stanice: technologie celonárodního významu. Biom.cz [online]. 2008-01-14 [cit. 2013-01-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stanice-technologie-celonarodniho-vyznamu>>. ISSN: 1801-2655. Staženo dne 24. 1.2013.

Biom CZ, : Bioplyn může zásobovat obnovitelnou elektřinou tisíce českých domácností. Biom.cz [online]. 2007-03-15 [cit. 2013-01-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplyn-muze-zasobovat-obnovitelnou-elektrinou-tisice-ceskych-domacnosti>>. ISSN: 1801-2655. Staženo dne 24. 1.2013.

Biom CZ : Nakládání s digestátem, možnost využití jako kvalitní hnojivo. Biom.cz [online]. 2013-12-18 [cit. 2013-01-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nakladani-s-digestatem-moznost-vyuziti-jako-kvalitni-hnojivo>>. ISSN: 1801-2655. Staženo dne 24. 1.2013.

BLÁHA P.: Možnost využití bioplynových stanic pro pokrytí velké části vysoké denní spotřeby elektřiny v elektrizační soustavě ČR. Biom.cz [online]. 2007-06-20 [cit. 2013-01-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyuziti-bioplynovych-stanic-pro-pokryti-velke-casti-vysoke-denni-spotreby-elektriny-v-elektrizacni-soustave-CR>>. ISSN: 1801-2655. Staženo dne 24. 1.2013.

BRANDEJSOVÁ E., PŘIBYLA Z. (2009): Bioplynové stanice – Zásady zřizování a provozu. Praha, GAS s.r.o., ISBN 978-80-7328-192-2 s. 5-8, 10 a 11.

DOLEŽAL P., ZEMAN L. (2008): Silážní kukuřice. In: ZIMOLKA J. et al. (eds.): Kukuřice – hlavní a alternativní užitkové směry. Praha, Profi Press, ISBN 978-80-86726-31-1, s. 136 – 141 a 145 – 147.

FAJMAN M. (2008): Využití kukuřice jako zdroje obnovitelné energie. In: ZIMOLKA J. et al. (eds.): Kukuřice – hlavní a alternativní užitkové směry. Praha, Profi Press, ISBN 978-80-86726-31-1, s. 171 a 173.

FUKSA P., BRANT V., KOCOURKOVÁ D., HAKL J. (2005): Množství energie spalného Tepla podsevových meziplodin v kukuřici. In: SOUČKOVÁ H., MOUDRÝ J. (eds.) : Využití fytomasy pro energetické účely, Sborník vědeckých publikací z mezinárodního semináře „Nepotravinářské využití fytomasy“. České Budějovice, Jihočeská univerzita, s. 39 – 42.

GADUŠ J., ŠÁGROVÁ S. (2005): Možnosti kofermentace biomasy. In: SOUČKOVÁ H., MOUDRÝ J. (eds.): Využití fytomasy pro energetické účely, Sborník vědeckých publikací z mezinárodního semináře „Nepotravinářské využití fytomasy“. České Budějovice, Jihočeská univerzita, s. 76.

HAVLÍČKOVÁ K. (2007): Zhodnocení ekonomických aspektů pěstování a využití energetických rostlin. České Budějovice, DTP, s. 74 – 77 a 79.

KAJAN M.: Výroba a využití bioplynu v zemědělství. Biom.cz [online]. 2002-11-26 [cit. 2013-01-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyroba-a-vyuziti-bioplynu-v-zemedelstvi>>. ISSN: 1801-2655. Staženo dne 24. 1.2013.

KŘEPELKA V. (1997): Využití bioetanolu jako paliva v zemědělství. Praha, ÚZPI, ISBN 80-86153-34-7, s. 5–7, 10.

LOUČKA R. (1998): Jadrná krmiva. In: KUDRNA V. et al. (eds.): Produkce krmiv a výživa skotu. Praha, Agrospoj Praha Těšnov, s. 104.

MILER P.: Zhodnocení ekologického potenciálu paliva E85. Listy cukrovarnické a řepařské, [www.cukr-listy.cz](http://www.cukr-listy.cz) [online], ISSN: 1210-3306. Staženo dne 2. 2. 2013.

MOUDRÝ J., JŮZA J. (1998): Pěstování obilnin. České Budějovice, DTP, vydání první. ISBN 80-7040-274-1, s. 38.

MOUDRÝ J., STRAŠIL Z. (1998): Energetické plodiny v ekologickém zemědělství. Hradec Králové, VH Press, s. 6, 8–10, 11, 15, 23, 24, 26 a 27.

MUDŘÍK Z. (1998): Jadrná krmiva. In: KUDRNA V. et al. (eds.): Produkce krmiv a výživa skotu. Praha, Agrospoj Praha Těšnov, s. 110 a 111.

NAVRÁTIL M. (2009): Pěstování kukuřice k energetickým účelům. [Diplomová práce]. České Budějovice, Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, katedra rostlinné výroby, 57 stran.

PASTOREK Z. (2001): Využití biomasy k energetickým účelům. In: CENEK M. et al. (eds.): Obnovitelné zdroje energie. Praha, FCC Public, ISBN 80-901985-8-9, s. 140, 141, 146, 147, 150 a 157.

PASTOREK Z., WOLF J. (1993): Výroba a využití bioplynu v zemědělství. Praha, UZPI, ISSN 0231-9470, s. 12–14, 21, 22 a 27.

PETŘÍKOVÁ V., SLADKÝ V., STRAŠIL Z., ŠAFAŘÍK M., UŠŤAK S., VÁŇA J. (2006): Energetické plodiny. Praha, Profi Press s.r.o., s. 5–8

SCHULZ H., EDER B. (2004): Bioplyn v praxi. Ostrava, HEL, ISBN 80-86167-21-6, s. 17–23, 25, 31–34 a 79–80.

SLADKÝ V.: Biobutanol jako kvalitní náhrada benzínu. Biom.cz [online]. 2010-05-19 [cit. 2013-02-03]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biobutanol-jako-kvalitni-nahrada-benzinu>>. ISSN: 1801-2655. Staženo dne 2. 2. 2013.

SLADKÝ V., ŠAFAŘÍK M. (2006): Technologie zpracování a využití energetických plodin. In: PETŘÍKOVÁ V., SLADKÝ V., STRAŠIL Z., ŠAFAŘÍK M., UŠŤAK S., VÁŇA J. (eds.): Energetické plodiny. Praha, Profi Press s.r.o., s. 95 a 104.

SOUČKOVÁ H., MOUDRÝ J. et al. (2006): Nepotravinářské využití fytomasy. Výzkumný ústav zemědělské ekonomiky Praha a Jihočeská univerzita České Budějovice, ISBN 80-7040-857-X, s. 6.

ŠIMON J., STRAŠIL Z. (2000): Perspektivy pěstování plodin pro nepotravinářské účely. Praha, ÚZPI, ISBN 80-7271-047-8, s. 28, 29 a 43.

VACULOVÁ K., BALOUNOVÁ M. (2008): Požadavky na kvalitu kukuřice. In: ZIMOLKA J. et al. (eds.): Kukuřice – hlavní a alternativní užitkové směry. Praha, Profi Press, ISBN 978-80- 86726-31-1, s. 161 – 163.

VÁŇA J.: Možnosti rozvoje bioplynových stanic v České republice. Biom.cz [online]. 2001-11-13 [cit. 2013-01-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-rozvoje-bioplynovych-stanic-v-ceske-republice>>. ISSN: 1801-2655. Staženo dne 24. 1.2013.

VÁŇA J.: Využití digestátů jako organického hnojiva. Biom.cz [online]. 2007-04-25 [cit. 2013-01-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-digestatu-jako-organickeho-hnojiva>>. ISSN: 1801-2655. Staženo dne 24. 1.2013.

VÁŇA J., ŠLEJŠKA A. (1998): Bioplyn z rostlinné biomasy. Praha, ÚZPI, ISBN 80-86153-92-4, s. 8,11,12 a 28.

VESELÝ P. (1987): Krmiva a jejich posuzování. In. ZELENKA J. et al.(eds.): Výživa a krmení hospodářských zvířat – I. (Návody do cvičení z výživy). Brno, Vysoká škola zemědělská, s. 27.

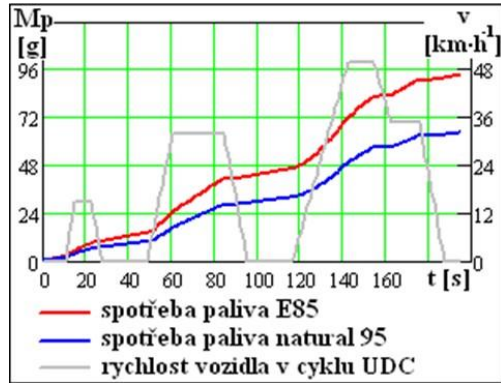
VRZAL J., NOVÁK D., KOHOUT V., ŠTÁFELDA J. (1995): Základy pěstování kukuřice a jednoletých píceň. Praha, Institut výchovy a vzdělávání Mze ČR, ISBN 80-7105-097-0, s. 3, 5–8, 11–14, 18–20.

ZELENKA J. (2006): Základní komponenty pro sestavování krmných směsí. In: ZELENKA J., ZEMAN L. (eds.): Výživa a krmení drůbeže. Brno, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, s. 22 a 23.

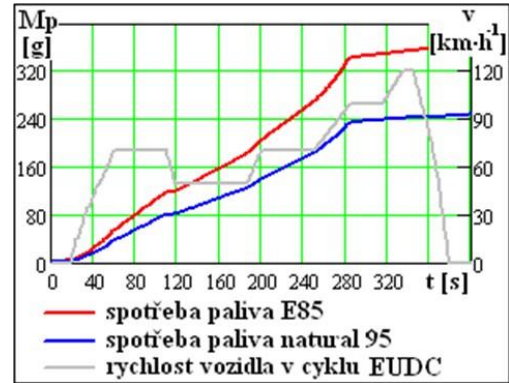
ŽÁČEK M., TAMCHYNA J., ŽÁČEK J., ŠIMEK M. A KOUBEK F. (1963): Škrobárenství I. díl. Praha, Středisko technických informací potravinářského průmyslu, s. 64, 65, 269 a 270.

## 12. Přílohy

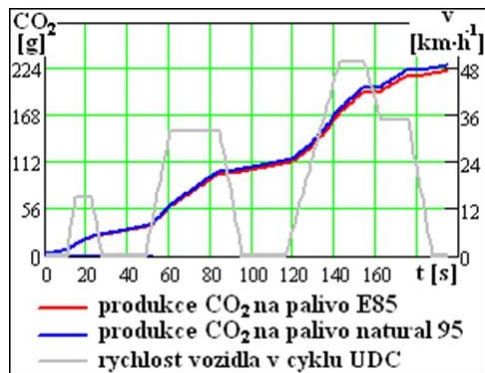
Obr. 1: Spotřeba paliva E85 a natural 95 v městském cyklu UDC (Miler 2009)



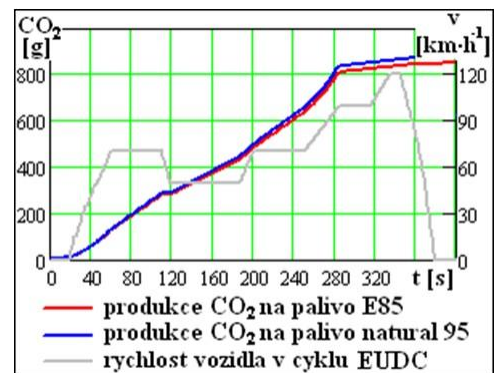
Obr. 2: Spotřeba paliva E85 a natural 95 v mimoměstském cyklu EUDC Miler (2009)



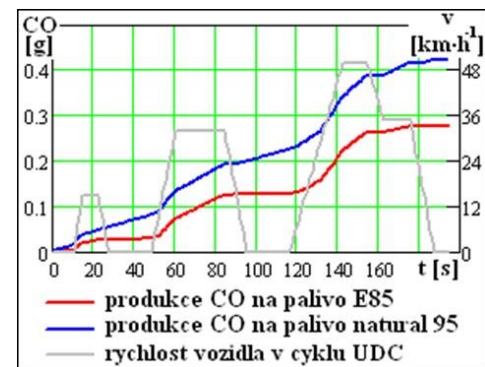
Obr. 3: Produkce emisí CO<sub>2</sub> na palivo E85 a natural 95 v městském cyklu UDC (Miler 2009)



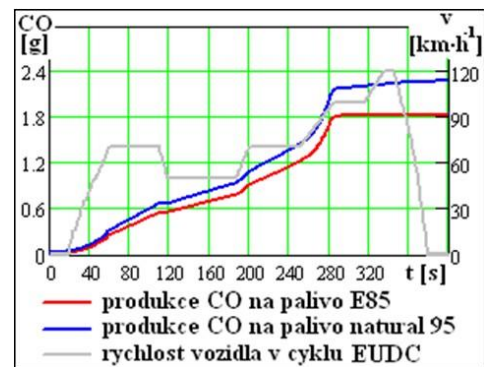
Obr. 4: Produkce emisí CO<sub>2</sub> na palivo E85 a natural 95 v mimoměstském cyklu EUDC (Miler 2009)



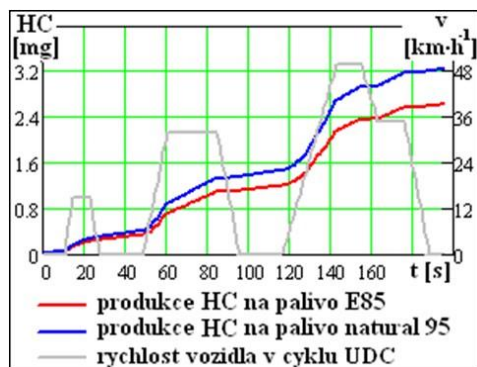
Obr. 5: Produkce emisí CO na palivo E85 a natural 95 v městském cyklu UDC (Miler 2009)



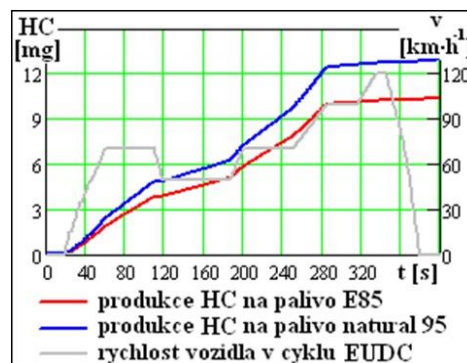
Obr. 68: Produkce emisí CO na palivo E85 a natural 95 v mimoměstském cyklu EUDC (Miler 2009)



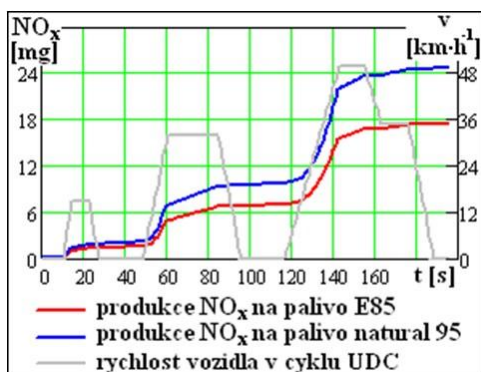
Obr. 7: Produkce emisí HC na palivo E85 a natural 95 v městském cyklu UDC (Miler 2009)



Obr. 8 : Produkce emisí HC na palivo E85 a natural 95 v mimoměstském cyklu EUDC (Miler 2009)



Obr. 9: Produkce emisí NO<sub>x</sub> na palivo E85 a natural 95 v městském cyklu UDC (Miler 2009)



Obr. 10: Produkce emisí NO<sub>x</sub> na palivo E85 a natural 95 v mimoměstském cyklu EUDC (Miler 2009)

