

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH**  
**ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

---

Studijní program: M4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Agroekologie

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

KATEDRA: AGROEKOLOGIE  
SEKCE: AGROCHEMIE A PEDOLOGIE

Téma: **Možnosti produkce bioenergie ve zvoleném zemědělském podniku ve vyšších polohách**

Vedoucí diplomové práce:

Prof. Ing. Ladislav Kolář, DrSc.

Konzultant diplomové práce:

Ing. Marie Šindelářová, CSc.

Autor diplomové práce:

Pavel Bárta

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci na téma: „Možnosti produkce bioenergie ve zvoleném zemědělském podniku ve vyšších polohách“ 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 diplomové práce, a to 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 28. dubna 2009

**Motto:** Problémy jsou proto, aby se překonávaly. Nejvlastnější přirozeností člověka je posunovat hranice svých možností a dokazovat svou svobodu. Kdo jsme a co se z nás stane, neurčují naše problémy, rozhodující je způsob, jakým se k nim postavíme, jestli na vrak hodíme zápalku, nebo se tím vším krok za krokem propracujeme ke svobodě (Richard Bach).

Poděkování:

Na tomto místě bych chtěl poděkovat všem, kteří mi byli nápomocni při řešení mé diplomové práce. Především však děkuji své konzultantce diplomové práce paní Ing. Marii Šindelářové, CSc. za metodické vedení, odborné vedení, pomoc, trpělivost a cenné rady v průběhu zpracování diplomové práce.

Dále děkuji panu Zdeňku Houškovi, řediteli Zemědělského družstva Skalka – Jankov, za možnost uskutečnění analýzy podniku a panu agronomovi Ing. Miroslavu Hodonskému za ochotu při poskytování podkladů pro mou diplomovou práci.

Také chci poděkovat svým rodičům, nejen za finanční a morální podporu, ale i za trpělivost, kterou se mnou měli.

## **Abstrakt**

Zvolený zemědělský podnik Zemědělské družstvo Skalka – Jankov hospodaří v Jihočeském kraji nedaleko města České Budějovice. Byla zde provedena analýza vnitřní struktury zemědělské soustavy za desetiletou řadu 1998 – 2007. Jako vstupní data pro analýzu byly použity plochy sklizně a výnosy plodin, spotřeba minerálních hnojiv, stavy skotu. Na základě provedené analýzy byly s využitím metody C-bilance vypracovány návrhy vnitřní struktury zemědělské soustavy, při zaměření na produkci bioenergie: obilí pro výrobu bioetanolu, řepky pro výrobu bionafty, na bioplyn.

**Klíčová slova:** zemědělská soustava, C-bilance, produkce bioenergie

The chosen agricultural enterprise, Agricultural Cooperative Skalka – Jankov farms in the South Bohemia region near the city of České Budějovice. Analysis of the inner structure of the agricultural system was calculated for a ten-year period 1998 – 2007. Data used for the analysis include: harvest area, yield of individual crops, mineral fertilizer consumption and cattle stock. On the basis of this analysis, using carbon balance principles, variants of agricultural inner structure project have been worked out, aimed at bioenergy production: cereals for production of bioethanol, raps for biodiesel production, biogas.

**Key words:** agricultural system, carbon balance, bioenergy production

## Použité symboly a označení:

ZS	zemědělská soustava
ZD	zemědělské družstvo
DJ	dobyččí jednotka
$C_2^P$	Planckova konstanta (přepočítávací koeficient sušiny pícnin na objem zrna obilovin)
ETA 0	suchá hmota jednoletých pícnin na jednotku hlavních uhlíkatých zdrojů
ETA 2	poměr zrna k uhlíkatým zdrojům
OMEGA 2	poměr sumy aktivního uhlíku k objemu sklizně obilovin
C–balance	uhlíková bilance
ETBE	etyl terciární butyl éter
MTBE	metyl terciární butyl éter
MEŘO	metylester řepkového oleje
FAME	metylester mastných kyselin
Nh	nadmořská výška
Gps	geologickopetrografický substrát
hz	hustota skotu ( $DJ \cdot ha^{-1}$ )
kn	krmná norma ( $t \cdot DJ^{-1} \cdot rok^{-1}$ )
Pz	plocha zemědělské půdy (ha)
Por	plocha orné půdy (ha)
$\sum H$	spotřeba minerálních hnojiv v t čistých živin
Yi	výnos plodiny [ $t \cdot ha^{-1}$ ]
Ysi	výnos suché hmoty plodiny [ $t \cdot ha^{-1}$ ]
$\sum Y_{si}$	objem sklizně suché hmoty plodiny [ $t \cdot ha^{-1}$ ]
$\sum Y_s$	objem sklizně suché hmoty všech plodin [ $t \cdot ha^{-1}$ ]
$\sum C_k$	aktivní uhlík po konverzi polygastrickými zvířaty
$OMEGA\ 2 = \sum C_k / \sum Y_{2z}$	aktivní uhlík na zrno obilovin
$ETA\ 0 = \sum Y_{s0} / \sum Y_{s(1+4a)}$	sklizeň silážní kukuřice ke sklizni víceletých pícnin a TTP
$ETA\ 2 = \sum Y_{2z} / \sum Y_{s(0+1+r_i+4)}$	Poměr zrna ke všem uhlíkatým zdrojům
$\Sigma Z$	stavy zvířat (DJ)
$\zeta_2$	parametr vyjadřuje poměr zdrojů a spotřebitelů uhlíku pro strukturu ( $Y_{s(1+4)} P_{(1+4)} \leftrightarrow Y_{s2} P_2$ )

$\zeta_3$  parametr vyjadřuje poměr zdrojů a spotřebitelů uhlíku pro strukturu  
 $(Y_{S_{(1+4)}} P_{(1+4)} + Y_{S_2} P_2) \leftrightarrow (Y_{S_3} P_3)$

### **Indexy jednotlivých plodin a skupin plodin:**

0	jednoleté píceiny	3	brambory
1	víceleté píceiny	4	trvalé travní porosty
2	obiloviny	5	řepka ozimá
2z	zrno obilovin	6	hrách
2sl	sláma obilovin	ri	rhizomy
TTP	trvalé travní porosty		

### **Koeficienty pro přepočet:**

- 0,386 – koeficient přepočtu sušiny na aktivní uhlík
- 0,360 – koeficient aktivního uhlíku ze sušiny rhizomů víceletých pícein
- 0,065 – koeficient aktivního uhlíku ze zrna obilovin
- 0,785 – koeficient objemu uhlíku po konverzi živin zvířaty
- 0,450 – koeficient pro výpočet suché hmoty rhizomů, ze suché hmoty víceletých pícein
- 1,270 – koeficient pro přepočet zrna obilovin na slámu
- 0,215 – koeficient konverze-množství sušiny krmného množství  
(KUDRNA, 1985)

### **Použité energetické parametry:**

- |   |                                    |
|---|------------------------------------|
| 1 t zrna – 342 l etanolu  | 1 t řepkového semene – 320 l oleje |
| 1 l etanolu – 2,99 kWh  | 1 l oleje – 2,52 kWh               |
| 1DJ – $0,943 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1} \rightarrow 344 \text{ m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$ |                                    |
| 1 $\text{m}^3$ bioplynu – 1,69 kWh  |                                    |
| (KUDRNA, ŠINDELÁŘOVÁ, 2000)   |                                    |

# OBSAH

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>2. LITERÁRNÍ ČÁST</b> .....	<b>13</b>
2.1. Zemědělské systémové inženýrství .....	13
2.2. Systémový přístup - systémové analýzy a metody .....	14
2.3. Teorie zemědělské soustavy .....	14
2.4. Parametry stavu zemědělské soustavy .....	15
2.4.1. Struktura zemědělské soustavy .....	15
2.4.2. Zemědělská soustava jako složitá dynamická soustava .....	17
2.4.3. Rovnováha zemědělské soustavy a její stabilita .....	18
2.5. Analýza výrobního území zemědělské soustavy .....	19
2.5.1. Faktory určující výběr plodin a typ zemědělské soustavy .....	22
2.5.2. Normální stav zemědělské soustavy .....	23
2.5.3. Optimální stav zemědělské soustavy .....	24
2.5.4. Metoda uhlíkové bilance .....	25
2.6. Charakteristika obnovitelných zdrojů energie – biomasa .....	25
2.6.1. Druhy obnovitelných zdrojů energie .....	28
2.6.1.1. Zemědělství jako významný producent obnovitelných zdrojů energie	28
2.6.1.2. Způsoby získávání energie z biomasy .....	28
2.6.2. Výroba bioplynu .....	29
2.6.2.1. Bioplyn z exkrementů hospodářských zvířat .....	29
2.6.2.2. Anaerobní digesce – princip .....	31
2.6.2.3. Obecné vlastnosti materiálu vhodného pro anaerobní fermentaci	33
2.6.2.4. Vlastnosti bioplynu .....	35
2.6.2.5. Technická zařízení a technologie zpracování kejdy a chlévské mrvy	36
2.6.2.6. Možnosti využití bioplynu .....	38
2.6.2.7. Fytomasa jako substrát pro anaerobní digesci .....	38
2.6.2.8. Anaerobní fermentace fytomasy v mokřích procesech ..	39
2.6.2.9. Anaerobní fermentace fytomasy v suchých fermentačních procesech	39
2.6.3. Kapalná motorová biopaliva .....	42
2.6.4. Výroba a využívání bioetanolu .....	43
2.6.4.1. Charakteristika, vlastnosti bioetanolu .....	43

2.6.4.2. Technologie výroby bioetanolu .....	44
2.6.4.3. Užití bioetanolu .....	47
2.6.4.4. Výhody použití etanolu jako alternativního paliva .....	48
2.6.4.5. Nevýhody použití etanolu jako alternativního paliva .....	48
2.6.5. Řepka pro výrobu bioolejů a bionafty .....	48
2.6.5.1. Zpracování olejnatých semen .....	49
2.6.5.2. Technologie výroby FAME .....	51
2.6.5.3. Užití FAME .....	54
<b>3. METODIKA .....</b>	<b>55</b>
3.1. Podklady pro analýzu vnitřní struktury zemědělské soustavy (ZS) ...	55
3.1.1. Plochy sklizně a výnosy plodin .....	55
3.1.2. Stavby skotu .....	56
3.1.3. Spotřeba minerálních hnojiv .....	56
3.2. Dekompozice struktury ZS metodou uhlíkové bilance .....	57
3.2.1. Dekompozice uhlíkovou metodou .....	57
3.3. Výpočet parametrů ZS .....	58
3.4. Výpočet normální struktury .....	58
3.5. Výpočet optimální struktury .....	60
3.6. Výpočet struktur se zvýšeným zastoupením energetických plodin .....	60
3.7. Přehled energetických přepočtů .....	61
<b>4. VLASTNÍ PRÁCE .....</b>	<b>62</b>
4.1. Poloha zemědělského družstva Skalka – Jankov .....	62
4.2. Výrobní zaměření .....	62
4.3. Charakteristika přírodních podmínek ZD Skalka – Jankov .....	63
4.3.1. Klimatologické podmínky .....	63
4.3.2. Geologickopetrografické substráty .....	64
4.4. Vnitřní zemědělská struktura ZD Skalka – Jankov, 1998 – 2007 .....	66
4.4.1. Normální struktura ZS – ZD Skalka – Jankov 1998 – 2007 .....	68
4.5. Grafy vnitřní struktury ZS – ZD Skalka – Jankov a jejich vyhodnocení	70
4.6. Návrh struktury ZS – ZD Skalka – Jankov varianta 1 – základní (zaměřená na obiloviny) .....	75



4.7. Návrh struktury ZS - ZD Skalka – Jankov varianta 1 b - zaměřená na řepku	78
4.8. Návrh struktury ZS - ZD Skalka – Jankov varianta 2 – pro bioplyn .....	80
4.8.1. Porovnání ETA 0, OMEGA 2 a C-bilance původní struktury s navrhovanými variantami .....	83
4.8.2. Spotřeba $\sum Y_{2z}$ na 1 DJ při úplném krytí z vlastní produkce .....	84
4.8.3. Rozdělení produkce obilovin – ZD Skalka – Jankov .....	85
4.8.4. Porovnání produkce bioenergie v navržených variantách .....	86
<b>5. DISKUSE .....</b>	<b>87</b>
<b>6. ZÁVĚR .....</b>	<b>89</b>
<b>7. POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>91</b>



## 1. ÚVOD

V současné době prochází zemědělství spolu s ostatními odvětvími národního hospodářství řadou změn. Až do padesátých let minulého století zemědělství a venkovská sídla zajišťovaly z větší části své energetické potřeby využitím biomasy z vlastních zdrojů.

Základním výrobním prostředkem v zemědělství je půda, která je téměř výhradním zdrojem potravin a krmiv.

Půda je naším největším přírodním bohatstvím. Je nenahraditelná a její rozsah je omezený. Sama však může za určitých podmínek neomezeně dlouho produkovat obnovitelná množství biomasy. Půda má mimořádnou planetárně energetickou funkci, neboť se v ní ukládá a zachovává sluneční radiační energie, přijímaná rostlinami v procesu fotosyntézy.

Skutečností je, že technický rozvoj a zvyšující se vstupy cizí energie umožnily zlepšit využití produkčního potenciálu nových druhů rostlin a živočichů a plně využít zemědělskou půdu pro produkci potravin. S tímto rozvojem vzrostl objem sklizně plodin a zvýšila se i užítkovost hospodářských zvířat. To zapříčiňuje v současné době nadprodukcii potravin, a tím pádem se nabízí možnost vrátit část zemědělské půdy původnímu účelu, tj. krytí části energetických potřeb zemědělství a venkova. V minulosti uplatňovaný systém maximálních výnosů a dosahování soběstačnosti ve výrobě základních zemědělských produktů i za cenu neúměrně vysokých vkladů do zemědělské výroby je překonán.

Kromě produkčních funkcí zemědělské výroby vstupují do popředí vzhledem ke stále zhoršujícímu se stavu životního prostředí i funkce mimoprodukční.

V nynější době probíhá restrukturalizace zemědělství a hledání vyváženého stavu mezi rostlinnou a živočišnou výrobou. A to jak z hlediska produkce potravin, tak i z hlediska šetrného hospodaření v krajině. Tímto dochází k určitým změnám v hospodaření na polích, loukách a pastvinách. V souvislosti se snižujícími se stavy hospodářských zvířat se přechodně snižoval i zájem o problematiku zabezpečování objemných krmiv z polí a z trvalých travních porostů. Příklady z pícninářsky a chovatelsky vyspělých zemí však zřetelně ukazují, že racionální obhospodařování polí, luk a pastvin je ekonomicky i ekologicky nutné. Potom lze výhodně sladit produkční funkci travních porostů a polí s jejich funkcemi mimoprodukčními, především půdoochrannou, vodohospodářskou, protierozní, krajínotvornou, energetickou a v některých oblastech i rekreační.

Tato skutečnost vede k tomu, že by zemědělství mělo pracovat racionálně, tj. aby bylo využito efektivně všech prostředků, které do výroby vstupují, a aby se efektivně využily podmínky, ve kterých se hospodaří.

Předložená práce je vypracována na základě teorie zemědělských soustav. Je provedena analýza vnitřní struktury zemědělské soustavy ZD Skalka – Jankov pro časovou řadu 1998 – 2007. Nezbytnými údaji pro vytvoření této analýzy zemědělské soustavy jsou výměry a výnosy jednotlivých plodin, dávky minerálních hnojiv a stavy skotu.

Na základě provedené analýzy budou za využití metody uhlíkové bilance vypracovány varianty, a to pro výrobu obilovin pro produkci bioetanolu, řepky pro produkci bionafty a na produkci bioplynu z odpadů z chovu skotu.

## 2. LITERÁRNÍ ČÁST

### 2.1. Zemědělské systémové inženýrství

Zemědělské systémové inženýrství vzniklo na základě dlouhodobých analýz vývoje světového zemědělství, lesního hospodářství a energetiky, tedy odvětví, na něž je položen největší požadavek pro zabezpečení existence lidstva.

Vlastní název „Systémové inženýrství“ vznikl z anglického „Systems engineering a growing concept“, tedy „široká oblast ignorující hranice, které rozdělují různé disciplíny a oddělují vědu od inženýrské práce“.

Rostoucí demografická křivka je také příčinou toho, že zemědělskou výrobu nelze omezit, že se nelze vrátit zpět ani v technologiích ani ve stupni intenzity výroby.

#### **Systémové inženýrství zahrnuje:**

- I. Oblast činnosti, jež se oddělila od tradiční inženýrské praxe a zaměřila se na cílevědomé řízení a organizaci procesů vytváření, vývoje a využití složitých inženýrských soustav.
- II. Oblast vědeckého poznání – jako komplexní vědeckou disciplínu, která spojuje metody analýzy a inženýrské činnosti, postupy projektování, využití matematických, technických, přírodovědných a společenských disciplín, které budou při řešení a projektování složitých dynamických soustav využity.

Zemědělské soustavy jsou v důsledku zavedení metod zemědělského systémového inženýrství oborem moderním, progresivním a především řešícím složité problémy, které klasickými metodami řešit nelze. Obor rozbíjí falešné představy o zprůměrnění zemědělství jako souboru strojních systémů a staví na první místo vědecké poznání, aktivní ochranu biosféry a ekologii. Využívá moderních metod výpočetní techniky a uplatňuje především logiku, odstraňuje nahodilé veličiny v soustavě a zvyšuje její ekonomické parametry.

Do celé trajektorie vývoje zemědělství velmi důrazně vstupuje problém ekologický, který musí být zemědělskou soustavou akceptován a který vyvolá i určitá omezení v zemědělském půdním fondu.

Metody systémového zemědělského inženýrství přinesly zcela nová poznání ve vývoji zemědělských soustav, pomohly odstranit příčiny ztrát, což představuje mimořádný ekonomický efekt (KUDRNA, 1996).

## **2.2. Systémový přístup - systémové analýzy a metody**

V principu představuje systémová analýza kvalitativní a kvantitativní analýzu zemědělských soustav, zejména pak v oblasti jejich navrhování, při změnách jejich parametrů vzhledem k vnějším i vnitřním podmínkám prostředí nebo v oblasti transformace hmoty a energie. Systémová analýza je podkladem pro systémové metody, ty pak dále slouží pro navrhování zemědělských soustav (KUDRNA, 1985).

Systémovým přístupem k problému nazýváme způsob logického myšlení, jehož základem je logická úvaha, intuice, korekce všech závěrů, využití zkušeností. Jevy jsou chápány komplexně v jejich vnitřních i vnějších souvislostech.

### **Obecně systémové metody práce umožňují:**

- a) řešení optimálních parametrů zemědělské soustavy
- b) prognózu vývoje a způsobů činnosti zemědělských soustav při změněných parametrech
- c) zkrácení časového rozdílu mezi vědeckým poznáním a jeho realizací a mezi vznikem dalších potřeb a vyvinutím nové soustavy, jež má tyto potřeby uspokojit
- d) vyjádření struktury a činnosti zemědělské soustavy i za nedostatku měřitelných příznaků. Měřitelný příznak (atribut) vyjadřuje charakteristickou vlastnost objektu, kterou lze změřit a vyjádřit jedním nebo několika reálnými nebo komplexními čísly (KUDRNA, 1979)

## **2.3. Teorie zemědělské soustavy**

Průkopníkem a zakladatelem systémového pojetí zemědělských soustav v ČR je prof. ing. Karel Kudrna, DrSc. z agronomické fakulty ČZU v Praze. Podle něho je zemědělská soustava (ZS) složitou dynamickou soustavou založenou na biologických principech. Opírá se o poznané biologické zákony, z nichž preferuje především zákon jednoty krajinného prostoru (prostředí) a struktury zemědělské soustavy, tj. vzájemného poměru mezi rostlinami, hospodářskými zvířaty a půdou.

Zemědělská soustava představuje umělou, ekologickou, složitou dynamickou soustavu vytvořenou člověkem v biosféře krajinného prostoru (KUDRNA, 1996).

Zemědělskou soustavu definujeme jako soubor vzájemně na sobě závislých a vzájemně se podmiňujících prvků, procesů, prostředků a zařízení, racionálně uspořádaných, řízených a regulovaných v prostoru a čase za účelem dosažení optimální kvantitativní a kvalitativní úrovně výroby organické hmoty (KUDRNA, 1979).

**Zemědělská soustava (ZS) je v širším pojetí agroekosystému stejně tak:**

- soustavou hospodaření zemědělských podniků (farming system),
- jako i systémem hospodaření na půdě (agricultural system).

Vždy jde především o strukturu (zastoupení jednotlivých plodin) a způsoby hospodaření, tj. o vzájemný poměr mezi rostlinnou a živočišnou výrobou ve vztahu k využívání zemědělské půdy v zemědělské krajině. Vyřešení optimalizace zemědělské soustavy je jednou z podmínek progresu zemědělství a jeho trvalé udržitelnosti (uplatnění tzv. setrvalého zemědělství – sustainable agriculture) (ŠVACHULA, VAŠÁK, PULKRÁBEK, 2000).

## **2.4. Parametry stavu zemědělské soustavy**

**Hlavní dva parametry stavu zemědělské soustavy jsou:**

- a) struktura ZS
- b) rovnováha ZS

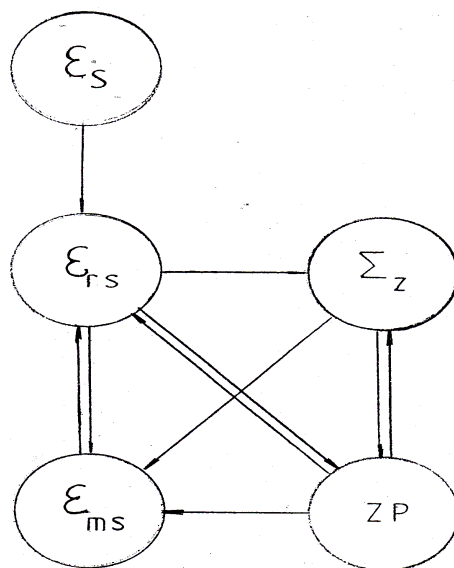
### **2.4.1. Struktura zemědělské soustavy**

**Členění struktury soustav:**

Vnější – prostorové uspořádání jednotlivých dílčích soustav a podsoustav z hlediska vzájemných vazeb aktivních prvků zemědělské soustavy a krajinného prostoru.

Vnitřní – prostorové a časové uspořádání jednotlivých prvků uvnitř jednotlivých podsoustav určených poměrem zdrojů a spotřebitelů uhlíku (druh zvířete, odrůdy polních plodin atd.).

Vnitřní struktura zemědělské soustavy a všechny regulační procesy, které regulují poměr kumulátorů, stabilizátorů a spotřebitelů uhlíku, jakož i migrace prvků determinují účinnost zemědělské soustavy (KUDRNA, 1996).



Obr. 1. Schéma vazeb mezi podsoustavami zemědělské soustavy (KUDRNA, 1996)

kde  $E_s$  - energie slunečního záření

$E_{rs}$  - energie rostlinných společenstev

$\Sigma_z$  - množství energie transformované zvířaty vyjádřené stavy polygastrických zvířat

$E_{ms}$  - množství transformované energie z rostlinných společenstev a minerálních látek z půdy, vyjádřené mikrobiálními společenstvy

ZP - zpracovatelský průmysl – množství energie transformované z rostlinných a živočišných produktů (KUDRNA, 1996).

**Základní struktura ZS je určena třemi podsoustavami, jež mají funkci transformačních soustav:**

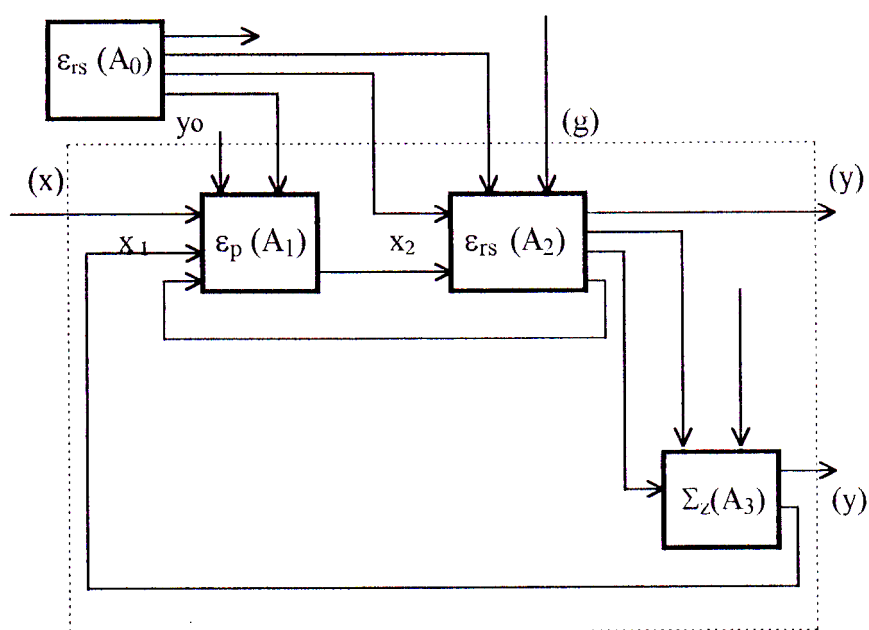
- 1) Soustava rostlinných společenstev ( $\epsilon_{rs}$ )
  - 2) Soustava hospodářských zvířat ( $\Sigma_z$ )
  - 3) Soustava mikrobiálních společenstev ( $\Sigma_m$ )
- Soustava rostlinných společenstev transformuje kinetickou energii slunečního záření ( $E_s$ ) v energii potenciální – organickou glycidobílkovinnou hmotu.



- Soustava hospodářských zvířat transformuje glycidobílkovinnou hmotu v kvalitnější živočišné bílkoviny a část jí vrací ve formě uhlíkatých látek do půdy.
- Soustava mikrobiálních společenstev resyntézuje uhlíkatou a z části dusíkatou hmotu a dokončuje cyklický oběh uhlíku (KUDRNA, 1996).

V podstatě jde ve všech soustavách o přenos a transformaci energií – od transformace kinetické energie slunečního záření v potenciální energii – uhlíkatodusíkatou hmotu, přes její zpětnou transformaci v žaludku polygastrických zvířat až k resyntéze a uvolnění uhlíkaté hmoty v půdě. K těmto transformačním procesům, v nichž rozhodující postavené má uhlík, je potřeba různých prostředků. K tomu, aby se mohly transformace realizovat, musí být zcela určité prostředí podmínky biosféry krajinného prostoru (KUDRNA, 1985).

#### 2.4.2. Zemědělská soustava jako složitá dynamická soustava



Obr. 2. Agregátové schéma energetického obvodu zemědělské soustavy (KUDRNA, 1985)

- $A_0$  - energie slunečního záření
- $A_1$  - půda
- $A_2$  - rostlinná společenstva
- $A_3$  - množství zvířat
- $g$  - regulační faktory

- x - vstup hmoty a energie
- y - výstupy hmoty a energie

Uvážíme-li, že agregát  $A_0$  je nezávislý a že je zdrojem energie soustavy, můžeme ze schématu pozorovat, že jednotlivé agregáty jsou bezprostředně spojeny a v důsledku přímých nebo zpětných vazeb je soustava relativně uzavřena. Agregátové schéma prozrazuje, že jsou zde dvě zpětné vazby: první je reprezentována návratem organických látek – zejména uhlíku – do půdy z bezprostředně spojeného agregátu  $\varepsilon_{rs}(A_2)$ , druhá pak představuje návrat uhlíkatých hmot ze spojeného agregátu  $\Sigma_z(A_3)$  do  $\varepsilon_p(A_1)$ . První vazbu nazveme – zpětnou, druhou – cyklickou. Obě jsou předpokladem pro vytváření vysoké hladiny bioenergetického potenciálu půdy. Působí zde i regulační faktory (g) ve všech agregátech, část hmoty a energie odchází z agregátů  $A_2$ ,  $A_3$  za hranice soustavy. V případě, že by soustava byla v rovnováze, pak z agregátu  $A_1$  by neměla odcházet bezprostředně žádná hmota a energie za hranice soustavy. Prakticky tomu však tak není a část hmoty – biogenních prvků – odchází v důsledku nerovnovážného stavu soustavy, vznikajícího především zpožděním funkce zpětných a cyklických vazeb (KUDRNA, 1985).

### 2.4.3. Rovnováha zemědělské soustavy a její stabilita

Rovnovážný stav ZS nastává tehdy, když vstupní a výstupní vektory jsou konstantní a stav soustavy v čase se nemění. Rovnovážný stav ZS je spojen s vratnými a cyklickými procesy, které v ní probíhají. Proto rovnovážný stav charakterizuje stabilitu ZS, je jejím parametrem.

#### V principu mohou nastat dva druhy rovnovážných stavů:

- 1) stálý rovnovážný stav
- 2) nestálý, posuvný (dynamický) rovnovážný stav

**Stálý rovnovážný stav** – prakticky v zemědělské soustavě neexistuje. Vznikl by tehdy, kdyby soustava vůbec nevykazovala žádných změn, kdyby nebylo žádného příkonu energie a kdyby neexistovaly žádné transformace.

**Dynamický rovnovážný stav** – vzniká neustálým porušováním stálé rovnováhy příkonem energie a vkladem práce. Může nastat jen tehdy, je-li v soustavě nepřetržitý příkon energie a práce.

Dynamický rovnovážný stav, a tedy i stabilita, mohou být udržovány jen permanentním vkladem práce a energie, vedoucím ke zvýšení využití energie slunečního záření. Avšak za určitých okolností, charakterizovaných především intenzitou funkce

zpětných vazeb v ZS, v průběhu jejího vývoje, v důsledku trvalého vkladu práce, se postupně zvyšuje hladina stálého rovnovážného stavu, tedy i stupně stability ZS. Tento proces souvisí s vytvořením vyšší hladiny bioenergetického potenciálu půdy (KUDRNA, 1985).

Stabilita ZS je klíčovým národohospodářským problémem zejména v koncepci zemědělskopřůmyslových soustav.

Stabilitu ZS můžeme definovat jako její stav, při němž odchylky od stavu rovnováhy vyjádřené trendem růstu suché hmoty všech plodin spějí v průběhu času k nule.

Pojem rovnováhy a stability soustavy souvisí s problémem tzv. ideální ZS. Její koncepce je tato:

Základním energetickým procesem v ZS je tvorba uhlíkatodusíkaté hmoty a její transformace. Ideální stav soustavy nastává, když veškerá hmota v ZS je transformována soustavou polygastrických zvířat a mikrobními společenstvy a hmota odcházející za hranice ZS je transformována tak, že se všechna vrací do struktury soustavy (KUDRNA, 1989).

## 2.5. Analýza výrobního území zemědělské soustavy

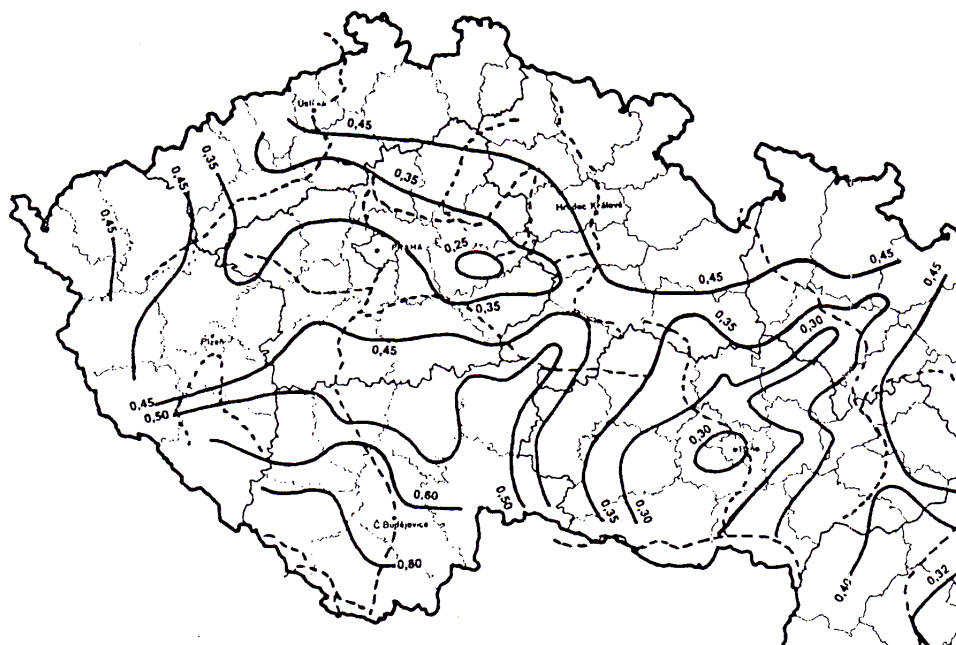
Analýza výrobního území ZS je soustředěna na ty vztahy mezi jednotlivými prvky ZS na výrobním území, jež dávají při navrhování předpoklad, že budou dodrženy všechny zákony, jimiž se řídí vývoj krajinného prostoru (KUDRNA, 1985).

K tomu, aby se mohly tyto transformace hmoty realizovat, musí mít zcela určité prostředí, ve kterém pracují. Tímto prostředím jsou podmínky biosféry krajinného prostoru, ve kterém se soustava nachází.

Při projektování zemědělských soustav vychází KUDRNA (1979) z teorie VERNADSKÉHO (1935) o krajinném prostoru. Soustava musí odpovídat konzervativním, reliktovým a progresivním prvkům krajinného prostoru.

- **Konzervativní prvky:** nadmořská výška, geologickopetrografický substrát, reliéf krajiny – jsou nejvíce stabilní, jejich změna vyžaduje velký vklad práce.

Při hodnocení konzervativních prvků se využívá metoda izočar  $\zeta_2$  a  $\zeta_3$  parametru výrobního území (KUDRNA, 1985).

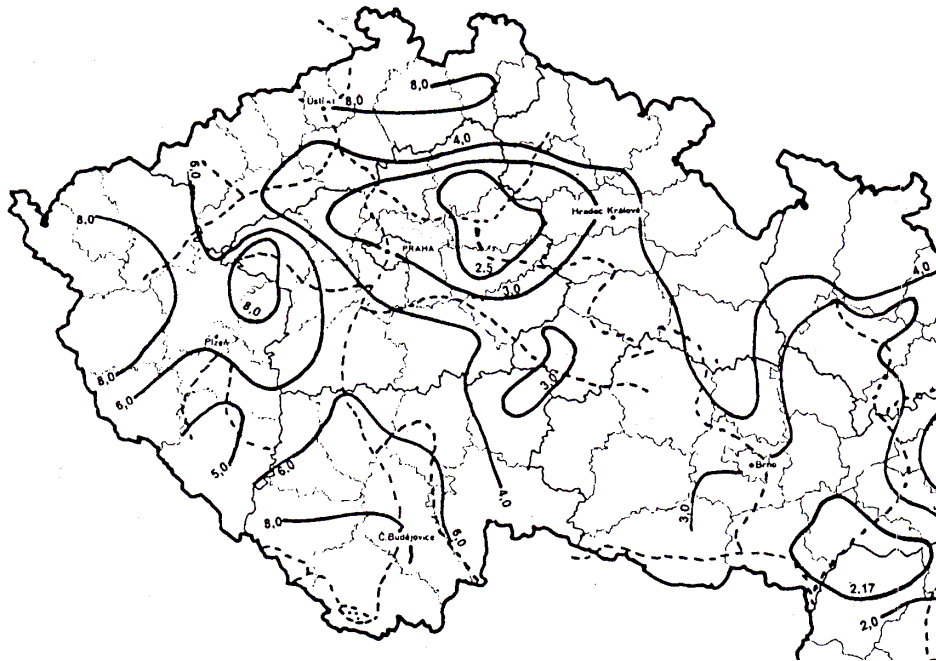


Obr. 3. Mapa izočar  $\zeta_2$  parametrů na území ČR (KUDRNA, 1985)

**Parametry  $\zeta_2$  a  $\zeta_3$  charakterizují strukturu zemědělské soustavy:**

$$\zeta_2 = \frac{k_1 \Sigma Y_{S_1} + k_4 \Sigma Y_{S_4}}{\Sigma Y_{S_2}} = \frac{k_1 P_1 Y_{S_1} + k_4 P_4 Y_{S_4}}{P_2 Y_{S_2}}$$

$$\zeta_3 = \frac{k_1 \Sigma Y_{S_1} + k_4 \Sigma Y_{S_4} + k_2 \Sigma Y_{S_2}}{\Sigma Y_{S_3}} = \frac{k_1 P_1 Y_{S_1} + k_4 P_4 Y_{S_4} + k_2 P_2 Y_{S_2}}{P_3 Y_{S_3}}$$



Obr. 4. Mapa izočar  $\zeta_3$  parametrů na území ČR (KUDRNA, 1985)

- I. Rostoucí hodnoty  $\zeta_2$  a  $\zeta_3$  naznačují, že se kvalita aktivních povrchů zhoršuje.
- II. Oblasti s vyšší nadmořskou výškou a méně příznivým geologickopetrografickým substrátem vykazují vyšší hodnoty, než oblasti nížinné s aluviálním či sprašovým substrátem. Proto v oblastech s vyšší nadmořskou výškou je nutno zvýšit množství aktivních povrchů organického původu.
- III. Zvláštní úlohu v rozdělení izočar parametrů  $\zeta_2$  a  $\zeta_3$  mají vodní toky z hlediska transportu sedimentů a jejich akumulace. Sedimenty obsahující zřejmě i značné množství jílových minerálů vytvářejí velké aktivní povrchy, a v důsledku toho i potřeba aktivních povrchů organického původu je menší. Sorpční kapacita těchto půd je podstatně ovlivněna minerální složkou půdy.
- IV. V oblastech, kde dochází k nejnižším hodnotám  $\zeta_2$  a  $\zeta_3$ , vytváří se nejdříve ve směru toku řeky izočára  $\zeta_2$  a za ní teprve izočára  $\zeta_3$ . Tento jev přesně odpovídá i vývoji sedimentace v inundačních oblastech řek. Při vyšší rychlosti proudu vybřežených vod nejdříve sedimentují hrubší a postupně pak se zpomalující rychlostí sedimenty jemnější. První odpovídají optimálním podmínkám obilovin, druhé optimálním podmínkám cukrovky.
- V. Všechny izočáry parametrů  $\zeta_2$  a  $\zeta_3$  směřují kolmo na směry vodních toků a jejich hodnoty stoupají s nadmořskou výškou proti směru vodního toku. Proto parametry  $\zeta_2$  a  $\zeta_3$  jsou veličinami, jež umožňují charakterizovat vzájemný zákonitý vztah struktury

ZS ke konzervativním prvkům krajinného prostoru. Označíme-li konzervativní prvky – geologickopetrografický substrát Gps a nadmořskou výšku Nh, pak uvedený proces představuje analýzu soustavy  $\zeta_2$  a  $\zeta_3 \leftrightarrow (Gps, Nh)$  (KUDRNA, 1985).

- **Progressivní prvky:** klimatické a povětrnostní podmínky, rostlinná a živočišná společenstva, mikrobiální společenstva, práce člověka, vklad energie apod. – jsou nejméně stabilní, proměnlivé. Jejich úloha spočívá v neustálém působení na prvky konzervativní.

- **Reliktové prvky:** půdní druh a typ, úrodnost – vznikly jako výsledek působení prvků progresivních na konzervativní.

Podle prognóz futurologů budou zemědělské soustavy sehrávat i v budoucnu významnou roli především jako nadstavbový prvek (viz následující schéma).



Obr. 5. Nadstavbový prvek zemědělské soustavy (ŠVACHULA, VAŠÁK, PULKRÁBEK, 2000)

### 2.5.1. Faktory určující výběr plodin a typ zemědělské soustavy

Významnou roli hrají mj.:

- historická etapa vývoje společnosti
- půdně-klimatické podmínky území
- introdukce nových plodin
- poznatky o pěstování jednotlivých plodin
- rozvoj pěstitelských technologií

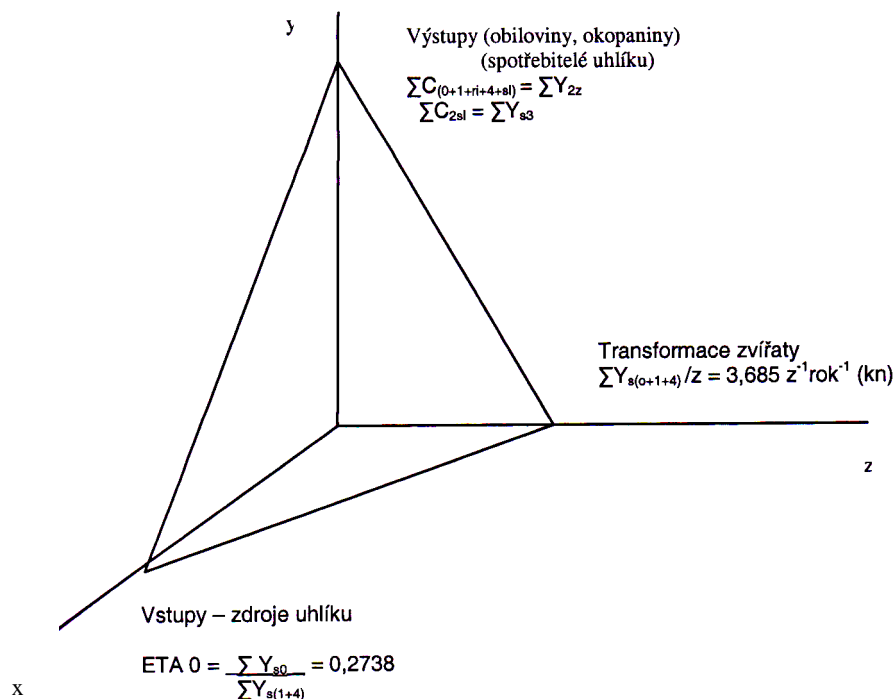
- potřeby člověka, potřeby trhu
- úroveň příjmů obyvatel (ŠVACHULA, VAŠÁK, PULKRÁBEK, 2000).

### 2.5.2. Normální stav zemědělské soustavy

Normální stav ZS je definován jako nejmenší soubor proměnných, které zcela určují její chování – činnost v biosféře krajinného prostoru (KUDRNA, 1989).

Normálního stavu používáme jako srovnávací veličiny pro stanovení odchylek, jež vznikají ve výrobě zemědělských produktů (KUDRNA, 1985).

Normální stav ZS je vyjádřen třemi na sobě závislými veličinami, jež zcela charakterizují její činnost (KUDRNA, 1989).



Obr. 6. Normální stav zemědělské soustavy (KUDRNA, 1989)

1) Vstupy jsou určeny objemem uhlíkatých hmot – jednoletými ( $\Sigma Y_{s0}$ ) a víceletými píceňinami ( $\Sigma Y_{s1}$ ), případně píceňinami drnového fondu ( $\Sigma Y_{s4}$ ). Jednoleté píceňiny jsou zde představeny kukuřicí a jsou ze systémového hlediska kumulátory, neboť způsobují svými fulvokyselinami v rizosféře intenzivní migraci prvků a při jejich dalším růstu se značně snižuje jejich využití. Proto musí být v přesném poměru s víceletými píceňinami, které naopak svými tmavými huminovými kyselinami působí jako stabilizátory minerálních živin a funkce mikrobiálních společenstev ( $\Sigma m$ ) (KUDRNA, 1989).

- 2) Progresivní vývoj ZS je podmíněn transformací do soustavy vstupující uhlíkaté hmoty polygastrickými zvířaty a mikrobiálními společenstvy v rizosféře polních plodin.
- 3) Výstupy tvoří plodiny, které patří mezi spotřebitele uhlíku. Z nejvýznamnějších skupin plodin jsou to okopaniny, olejniny, lze sem zařadit i obiloviny (KUDRNA, 1989).

### 2.5.3. Optimální stav zemědělské soustavy

Matematické modely se musí opírat o rovnovážné, resp. stacionární stavy, popisující rovnováhu mezi zdroji a spotřebiteli energie, přičemž intenzita činnosti spotřebitelů bude vždy impulsem pro další zvýšení intenzity zdrojů ve smyslu zákona o účinnosti hmoty. Proto zdroje jsou limitujícím faktorem dalšího vývoje ZS a po dosažení jejich mezní hodnoty zůstávají rezervy jen v jejich vyšším využití. Tento obecný zákon můžeme vyjádřit jednoduchým vztahem spojeným zpětnou kompenzační vazbou.

Akumulace organické hmoty  $\leftrightarrow$  mineralizace, při čemž oba procesy mají své mezní stavy, mezi nimiž se realizuje činnost ZS, která je regulátorem tohoto procesu.

Tento zákon se opět týká parametru  $ETA_0 = \Sigma Y_{S_0} : \Sigma Y_{S_{(1+4)}} = 0,274$ , tedy poměru fulvokyselin ze silážní kukuřice a huminových kyselin z víceletých pícnin a drnového fondu. Je-li tato hodnota menší, neumožňuje dostatečnou migraci prvků, větší ji naopak zintenzivňuje tak, že uvolněné minerální látky jsou využívány jen spontánně a náhodně, v závislosti na meteorologických podmínkách nebo závlahách. V tomto smyslu se uplatňuje druhá složka huminových kyselin, jejímiž zdroji jsou víceleté pícniny s vysokou celkovou alkalitou, ty působí jako pozitivní zpětná kompenzační vazba, neboť s rostoucím množstvím huminových kyselin roste i možnost vazby iontů minerálních solí na aktivní povrch, sorpční komplex se stabilizuje, snižuje se únik minerálních solí z rizosféry. Proto působí jako stabilizátory. Při rostoucí hodnotě  $ETA_0$  dochází k porušování mikrostruktury půdy, samovolnému sléhvání půdy, roste její odpor a příznivý fyzikální stav půdy, vzdušný a chemický režim rizosféry musí být udržován intenzivnějším obděláváním a vyšším vkladem práce.

Neméně důležitý je parametr  $ETA_0$  při stanovení krmného množství pro zvířata. Tato hodnota zabezpečuje optimální výživu zvířat, aniž by došlo k disfunkci předžaludků. Z uvedených hledisek se jeví struktura ZS determinována poměrem zdrojů a spotřebitelů uhlíku a poměrem kumulátorů a stabilizátorů rozhodujícím faktorem její stability a účinnosti.



Proto se stávají obecnými veličinami modelování optimální struktury zemědělských soustav (KUDRNA, 1987).

#### **2.5.4. Metoda uhlíkové bilance**

Akumulace uhlíku v rizosféře víceletými píceňinami implikuje akumulaci zrna obilnin a akumulace uhlíku obilninami (zrna i slámy) implikuje akumulaci suché hmoty spotřebitelů uhlíku - cukrovky a brambor.

Metoda uhlíkové bilance umožňuje vyhodnotit stupeň rovnováhy ZS a determinovat i stav jejího maximálního zatížení. Zároveň umožňuje soustavně vyhodnocovat všechny odchylky od normálního stavu soustavy.

Princip metody spočívá v poznání, že objem aktivního uhlíku vypočítaný pomocí koeficientů je roven objemu suché hmoty bulev cukrovky nebo hlíz brambor a objemu suché hmoty víceletých píceňin na orné půdě (KUDRNA, 1985).

#### **Koeficienty používané pro výpočet:**

- 0,785 - koeficient pro výpočet aktivního uhlíku po konverzi živin
- 0,386 - koeficient pro přepočtení suché hmoty všech plodin na aktivní uhlík
- 0,450 - koeficient pro přepočtení suché hmoty rhizomů, ze suché hmoty víceletých píceňin
- 0,360 - koeficient pro výpočet aktivního uhlíku ze suché hmoty rhizomů víceletých píceňin
- 0,065 - koeficient pro výpočet aktivního uhlíku zrna obilovin

## **2.6. Charakteristika obnovitelných zdrojů energie – biomasa**

Alternativní zdroje energie jsou přírodní zdroje, které jsou člověku v přírodě volně k dispozici, které se neustále obnovují a jejichž zásoba je z lidského pohledu nevyčerpatelná, na rozdíl od tradičních fosilních či jaderných energetických zdrojů.

Mezi obnovitelné zdroje energie patří přímá energie slunečního záření, energie vodních toků, energie větru, energie vnějšího prostředí, energie biomasy, v malé míře energie termálních vod a odpadová rekuperovaná energie včetně částí energie získávané tepelnými čerpadly (MOUDRÝ, STRAŠIL, 1998).

Cílem programů v ČR je podpora projektů zavádění výroby elektrické energie nebo tepla z obnovitelných zdrojů energie, zvýšení podílu obnovitelných zdrojů energie na celkové

výrobě energie a současně snížení spotřeby primárních, neobnovitelných zdrojů energie (MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU, 2007).

Česká republika kryla v roce 2000 obnovitelnými zdroji (biomasa, voda, tepelná čerpadla, solární energie) zatím asi jen 2 % energetické bilance. Z toho tvoří podíl biomasy, nejvýznamnějšího obnovitelného zdroje ČR, asi 70 %. Její energetický potenciál u nás je podle provedených studií dosti vysoký. Do 15 let by mohla biomasa pokrýt až 12 % celkové bilance energie (HOLUBOVÁ, LUŇÁČEK, 2001).

Potenciál obnovitelných zdrojů energií je v Čechách mnohem vyšší, než činí jejich současný podíl. Důvody, pro které nejsou využívány masivněji, jsou především ekonomické. Patří mezi ně deformované ceny energií upřednostňující fosilní či jaderná paliva, nedostatek investičních prostředků (nemožnost získat úvěr s delší dobou splatnosti) nebo i nízké výkupní ceny elektřiny od malých výrobců, ke kterým provozovatelé obnovitelných zdrojů patří (SEQUENS, HALAMA, 1999).

### **Ohlédnutí za podporou Obnovitelných zdrojů energie v ČR:**

Podpora výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie byla v České republice stanovena poprvé pro rok 2002. V listopadu 2001 vydal Energetický regulační úřad (ERÚ) cenové rozhodnutí, které stanovovalo výkupní ceny pro základní kategorie obnovitelných zdrojů, malé vodní elektrárny, spalování biomasy, spalování bioplynu, větrné elektrárny, využití slunečního záření a využití geotermální energie.

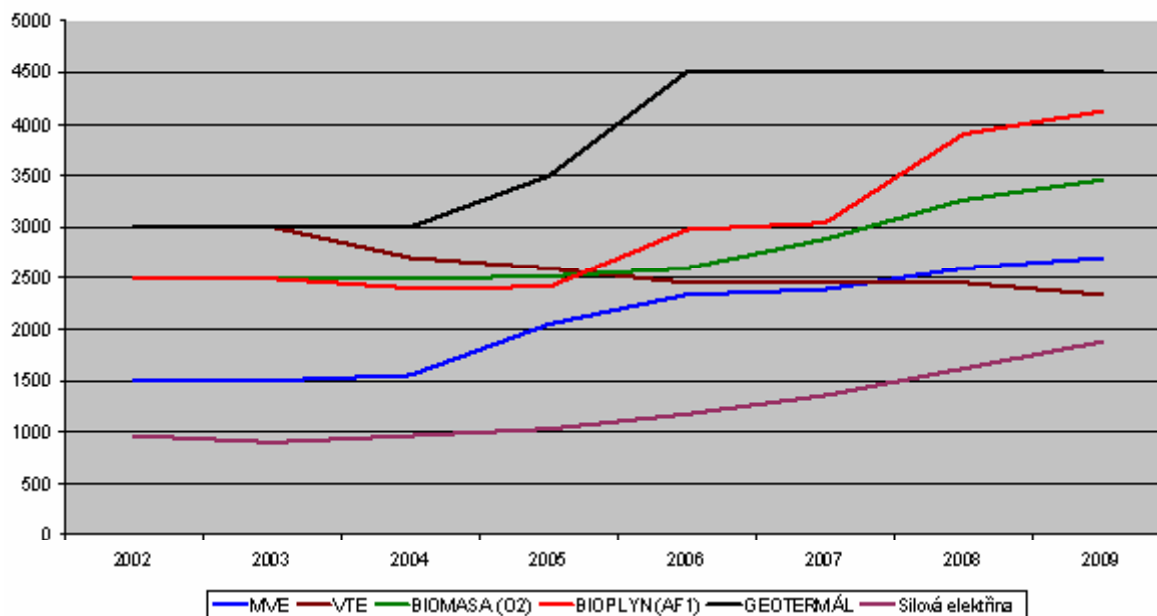
Jsou zde stanoveny dva systémy podpory, a to výkupní ceny a zelené bonusy. V případě, že si výrobce zvolí podporu formou výkupních cen, volí jistotu. Jistotu toho, že veškerou elektřinu, kterou vyrobí, prodá za garantované výkupní ceny provozovateli regionální distribuční soustavy nebo provozovateli přenosové soustavy. Ti platí výrobcí za elektřinu naměřenou na předávacím místě mezi jimi a výrobcem.

Druhý systém, podpora formou zelených bonusů, je sice složitější, ale na druhou stranu umožňuje výrobcí maximalizovat zisk. Výrobce může svou produkci elektřiny prodat jakémukoliv zákazníkovi, obchodníkovi s elektřinou nebo sám ji spotřebovat na tzv. ostatní vlastní spotřebu. Elektřinu pak prodává za tržní cenu silové elektřiny, která je obvykle vyšší, než rozdíl výkupní ceny a zeleného bonusu pro danou kategorii obnovitelného zdroje.

Nevýhodou systému zelených bonusů je, že výrobce si musí aktivně hledat odběratele pro svou produkci a vyřešit otázky spojené s odpovědností za odchylku. Ale i přes tyto další nutné kroky byla v roce 2007 formou zelených bonusů, které vyplácí provozovatel

regionální distribuční soustavy, podporována více než polovina výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů (POLÁK, 2009).

Graf 1: Vývoj výkupních cen pro jednotlivé kategorie OZE (s výjimkou fotovoltaiky) (POLÁK, 2009)



Tab. 1. Výkupní ceny a zelené bonusy pro výrobu elektřiny využitím slunečního záření (FIŘT, 2008)

Datum uvedení do provozu	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Využití slunečního záření po 1. lednu 2009 s instalovaným výkonem do 30 kW včetně	12890	11910
Využití slunečního záření po 1. lednu 2009 s instalovaným výkonem nad 30 kW	12790	11810
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu od 1. ledna 2008 do 31. prosince 2008	13730	12750
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu od 1. ledna 2006 do 31. prosince 2007	14080	13100
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu před 1. lednem 2006	6710	5730

### 2.6.1. Druhy obnovitelných zdrojů energie

- **Sluneční energie** - je hlavním zdrojem přímé i nepřímé obnovitelné energie (MOUDRÝ, STRAŠIL, 1998). Energii slunečního záření využívají pasivní solární systémy. Aktivní solární systémy využívají sluneční energie pro přípravu teplé vody a pro přitápění nebo pro výrobu elektrické energie (ŠTÝSOVÁ, 2008).
- **Energie biomasy** – biomasa je definována jako hmota organického původu, jde o veškerou živou přírodu. Pokud se o biomase mluví v souvislosti s energetikou, uvažuje se nejčastěji dřevo a dřevní odpad, sláma a jiné zemědělské zbytky a exkrementy užitkových zvířat (BERANOVSKÝ, TRUXA, 1999).
- **Větrná energie** – elektrická energie je vyráběna větrem.
- **Geotermální energie** – energie je získávána z nitra Země.
- **Vodní energie** – energie vodních toků je vlastně energií sluneční. Sluneční energií se vypařuje voda, vodní pára stoupá vzhůru, sráží se a srážky sytí prameny (ŠTÝSOVÁ, 2008).

#### 2.6.1.1. Zemědělství jako významný producent obnovitelných zdrojů energie

Obecně lze biomasu využívat jako pevné palivo pro přímé spalování, tekuté biopalivo nebo ve formě bioplynu. Pěstování biomasy přispívá k omezení skleníkového efektu, umožňuje efektivní využití půdy v méně příznivých oblastech, na půdách náchylných k erozi snižuje toto riziko, podílí se na rázu krajiny a v neposlední řadě má významné sociální aspekty, neboť přispívá k vytvoření nových pracovních míst (SVĚTLÍK, 2006).

#### 2.6.1.2. Způsoby získávání energie z biomasy

Energie získaná z biomasy různými úpravami se vyskytuje ve formě pevné, kapalné nebo plyné a může být dále přeměněna např. na teplo, elektrický proud nebo pohonné hmoty.

Při využívání biomasy k energetickým účelům existují některé výhody oproti konvenčním palivům. Zdroj energie má obnovitelný charakter. Jsou menší negativní dopady na životní prostředí. Jelikož jde o místní zdroj energie, snižuje se potřeba dovozu energetických zdrojů. Zdroj biomasy není lokálně omezen a jeho řízená produkce přispívá k vytvoření krajiny a péči o ni. Jde mnohdy o odpady, které se tímto účelně využívají.

Způsob využití rostlinné hmoty závisí na množství látek, na jejich skladovatelnosti, obsahu vody, struktuře a látkovém složení. Hodnota 50 % sušiny je přibližná hranice mezi

mokrými a suchými procesy. Látky s vysokým obsahem vody je nejlépe zpracovávat kvašením, látky s nízkým obsahem vody se hodí pro spalování nebo suchou destilaci. Obecně lze rozlišit několik způsobů získávání energie z biomasy:

- a) termochemická přeměna biomasy (suché procesy)
  - zplyňování
  - spalování
- b) biochemická přeměna biomasy (mokrý procesy)
  - metanové kvašení
  - alkoholové kvašení
- c) chemická přeměna biomasy
  - esterifikace surových bioolejů
- d) získávání odpadního tepla při zpracování biomasy (při kompostování, čištění odpadních vod, anaerobní fermentaci pevných organických odpadů apod.) (MOUDRÝ, STRAŠIL, 1998).

## **2.6.2. Výroba bioplynu**

Mikrobiální rozklad organických látek bez přítomnosti kyslíku se současným vznikem bioplynu se nazývá anaerobní fermentace neboli metanogenní kvašení. Za určitých podmínek probíhá tento proces od pradávna v přírodě samovolně (CENK, 2001).

Bakteriální produkce metanu se vyskytuje v přirozených podmínkách v anaerobních prostředích, jež vznikají v sedimentech, zamokřených půdách, rýžových polích, v trávicích soustavách býložravců apod. Bakterie zodpovědné za produkci patří do unikátní genealogické skupiny, o které panuje přesvědčení, že se vytvořila dávno před tím, než se v zemské atmosféře objevil kyslík (ZEHNDER, SVESON, 1986).

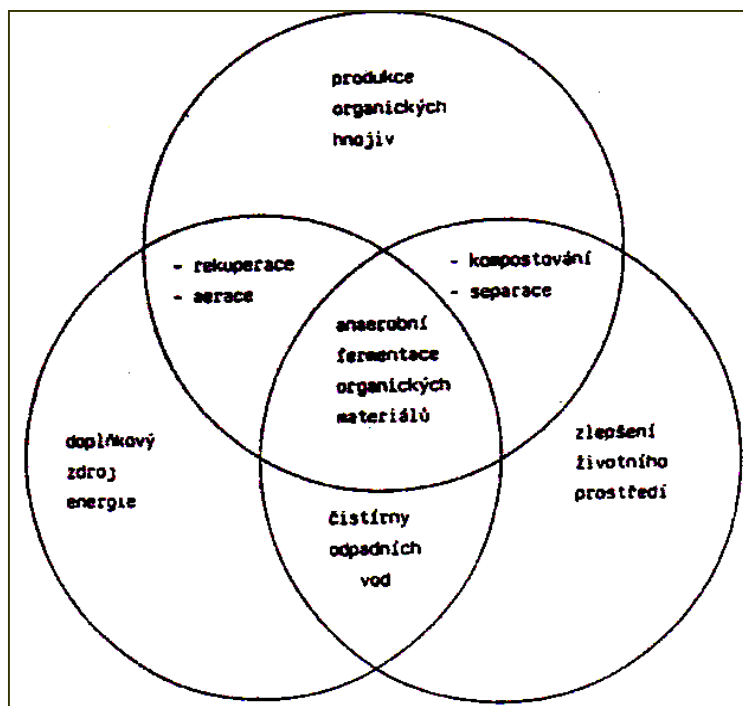
Bioplyn je směsí plynů a jeho přibližné složení je 60 – 75 % metanu, 23 – 38 % oxidu uhličitého a 2 % různorodých plynů (vodíku, sirovodíku ...) (GRAF, 2001).

Technické využití bioplynu vznikajícího při vyhnívání usazeného kalu z městských odpadních vod bylo poprvé předvedeno v roce 1895 ve Velké Británii. Bioplyn byl použit k osvětlování ulic (PŘÍKRYL, 1997).

### **2.6.2.1. Bioplyn z exkrementů hospodářských zvířat**

Exkrementy hospodářských zvířat jsou dobře biologicky rozložitelné. V provozních podmínkách lze metanizací rozložit největší podíl organických látek u trusu drůbeže (asi 65 %) a u exkrementů prasat (asi 50 %). U výkrmového skotu se uvádí 35 – 40 %, u

dojnic a odchovu 25 – 30 %, to platí u bezstelivového provozu. U slamnatého hnoje s poměrem sušiny slámy k sušině exkrementů 1:1 je rozložitelnost nižší (jen 20 – 25 %) vlivem pomalé hydrolýzy slámy (PŘIKRYL, 1997).



Obr. 7. Význam anaerobní fermentace organických materiálů pro zemědělství (WOLFF, PASTOREK, 1992).

Tab. 2. Produkce bioplynu (SCHULZ, EDER, 2004)

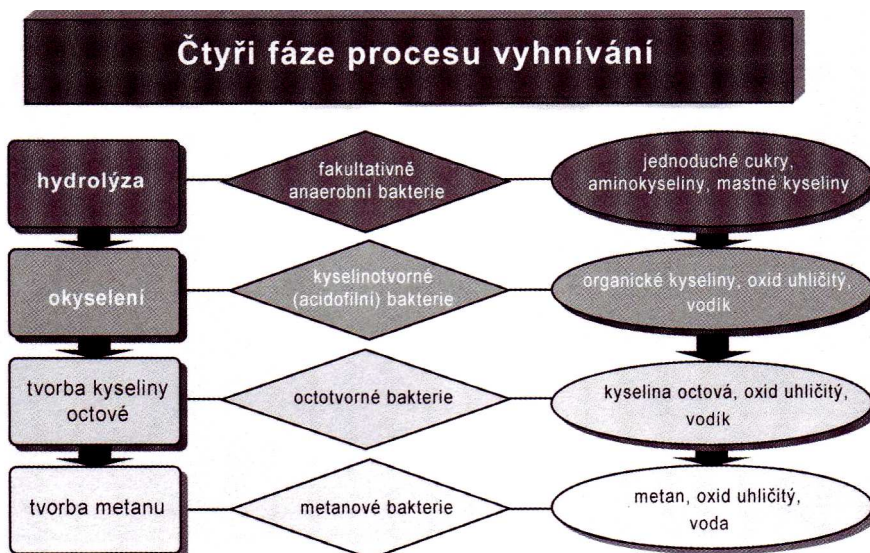
Druh zvířete	1 zvíře =	m <sup>3</sup> kejdy na jedno zvíře			1 dobytčí jednotka =	m <sup>3</sup> bioplynu na 1 zvíře		
		den	měsíc	rok		den	měsíc	rok
Dojnice	1,2 DJ	0,055	1,65	19,8	0,83 zvířete	0,916	27,48	329,76
Krmný býk	0,7DJ	0,023	0,69	8,3	1,43 zvířat	0,84	25,2	302,4
Mladý dobytek	0,6DJ	0,025	0,75	9,0	1,67 zvířat	0,72	21,6	259,2
Chovné tele	0,2DJ	0,008	0,24	2,9	5 zvířat	0,24	7,2	86,4
Krmné tele	0,2DJ	0,004	0,12	1,4	5 zvířat	0,24	7,2	86,4
Krmné prase	0,12DJ	0,0045	0,14	1,6	8,33 zvířat	0,1056	3,168	38,02
Chovaná svině	0,34DJ	0,0045	0,14	1,6	2,94 zvířat	0,2992	8,976	107,7
Sele	0,04DJ	0,002	0,06	0,7	25 zvířat	0,0352	1,056	12,67
Svině + 19 selat / rok	0,46DJ	0,014	0,42	5,0	2,17 zvířat	0,4048	12,144	145,73
Nosnice	0,0033DJ	0,0002	0,0059	0,071	300 zvířat	0,01238	0,37	4,46

Mezi organické materiály vhodné pro výrobu bioplynu lze podle ŠOCHA (1996) řadit městské kaly, exkrementy hospodářských zvířat, městské odpady, odpady potravinového průmyslu a z části i odpady z dřevozpracujícího průmyslu. Největším producentem organických látek u nás jsou hospodářská zvířata.

#### 2.6.2.2. Anaerobní digesce – princip

Jde o soubor navazujících dílčích procesů, kdy výpadek jednoho může způsobit kolaps celého systému (INNEMANOVÁ, 2008).

Jedná se o velmi složitý biochemický proces, který se skládá z mnoha dílčích, na sebe navazujících fyzikálních, fyzikálně – chemických a biologických procesů. Metanogeneze je pouze konečná fáze biochemické konverze biomasy v anaerobních podmínkách na bioplyn a zbytkový fermentovaný materiál (PASTOREK, KÁRA, JEVÍČ, 2004).



Obr. 8. Čtyři fáze procesu vyhnívání (SCHULZ, EDER, 2004).

## HYDROLÝZA

- rozklad komplexních polymerů (polysacharidy, proteiny, lipidy) na menší molekuly, hydrolyzá je katalyzována extracelulárními enzymy (celulázy, proteázy, lipázy), transportuje komplexní polymery do mikrobiální buňky, kde mohou být dále metabolizovány a může probíhat za přítomnosti kyslíku (INNEMANOVÁ, 2008).

- začíná v době, kdy prostředí obsahuje vzdušný kyslík. Předpokladem pro její nastartování je mimo jiné dostatečný obsah vlhkosti – nad 50 % hmotnostního podílu. Hydrolytické mikroorganismy ještě striktně nevyžadují bezkyslíkaté prostředí. Enzymatický rozklad mění polymery (polysacharidy, proteiny, lipidy atd.) na jednodušší organické látky (monomery) (PASTOREK, KÁRA, JEVIČ, 2004).

## ACIDOGENEZE

- zpracovaný materiál může obsahovat ještě zbytky vzdušného kyslíku, v této fázi však dojde definitivně k vytvoření anaerobního (bezkyslíkatého) prostředí. Zajistí to četné kmeny fakultativních anaerobních mikroorganismů, které se aktivují v obou prostředích.

- vznik  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  a  $\text{CH}_3\text{COOH}$  umožňuje metanogenním bakteriím tvorbu metanu. Kromě toho vznikají jednodušší organické látky (vyšší organické kyseliny, alkoholy) (PASTOREK, KÁRA, JEVIČ, 2004).

- komplexní fáze, při které jsou přeměňovány sacharidy, aminokyseliny a mastné kyseliny na nižší mastné kyseliny,  $\text{H}_2$  a  $\text{CO}_2$ . Těto přeměny se zúčastní mnoho druhů



bakterií (např. *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*) a pak navazuje proces acetogeneze (INNEMANOVÁ, 2008).

## ACETOGENEZE

- kdy je acetogenními baktériemi (např. *Syntrobacter wolini*, *Syntrophomonas wolfei*) produkován ACETÁT z těkavých MK (např. propionová, máselná) jako substrát pro methanogenezi. Konsorcium bakterií zodpovědných za acidogenezi zahrnuje fakultativně anaerobní i striktně anaerobní bakteriální kmeny (INNEMANOVÁ, 2008).

- je někdy označována jako mezifáze. Acidogenní specializované kmeny bakterií transformují vyšší organické kyseliny na kyselinu octovou ( $\text{CH}_2\text{COOH}$ ), vodík ( $\text{H}_2$ ) a oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) (PASTOREK, KÁRA, JEVIČ, 2004).

## METANOGENEZE

- methanogenní bakterie využívají kyselinu mravenčí, kyselinu octovou, methanol a vodík jako zdroj energie za tvorby METHANU

Dvě hlavní cesty methanogeneze:

- utilizace kyseliny octové tzv. acetotrofními methanogeny (např. rody *Methanocarcina*, *Methanothrix*, *Methanococcus*)

-  $\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$

- redukce  $\text{CO}_2$  vodíkem na methan tzv. hydrogenotrofními methanogeny (např. *Methanobacterium*, *Methanococcus*).

$4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$  (INNEMANOVÁ, 2008).

Pro stabilitu procesu anaerobní fermentace organických materiálů je velmi důležitá optimální rovnováha v kinetice jednotlivých fází, probíhajících s odlišnou kinetickou rychlostí. Metanogenní fáze probíhá přibližně 5 krát pomaleji než zbylé tři fáze. Tomu je třeba přizpůsobit konstrukci bioplynových technologických systémů a dávkování surového materiálu, jinak hrozí přetížení fermentoru se všemi nepříznivými důsledky (PASTOREK, KÁRA, JEVIČ, 2004).

### 2.6.2.3. Obecné vlastnosti materiálu vhodného pro anaerobní fermentaci

→ Malý obsah anorganického podílu ( popelovin ).

→ Organický materiál s vysokým podílem biologicky rozložitelných látek.

→ Teplota: teplotní pásma, při kterých probíhá metanogenní proces, se dělí na tři oblasti.

Tab. 3. Teplotní pásma metanogenních bakterií (PASTOREK, KÁRA, JEVIČ, 2004).

psychrofilní	15 až 20 °C
mezofilní	35 až 40 °C
termofilní	asi 55 °C

Minimální teplota, při které proces začne probíhat, je 4 °C (PASTOREK, KÁRA, JEVIČ, 2004). Nejideálnější teplota, podle ŠOCHA (1996), je kolem 35 °C. Když je teplota nižší, dochází k výraznému snížení tvorby plynu. Při 10 °C se proces víceméně zastavuje. Při teplotě nad 35 °C klesá podíl metanu v plynu.

→ Optimální obsah sušiny pro zpracování pevných odpadů je 22 – 25 %, v případě tekutých odpadů 8 – 14 %. Tekuté odpady s obsahem sušiny menším než 3 % jsou zpracovávány anaerobní fermentací s negativním energetickou bilancí (proces je udržován na požadované provozní teplotě za předpokladu dodávky doplňkového tepla z externího zdroje).

Pozitivní energetické bilance je dosahováno zpravidla až při obsahu sušiny tekutých odpadů větším než 3 – 5 %. Horní hranici optimálního obsahu sušiny tekutého odpadu tvoří vždy mez čerpatelnosti materiálu. Absolutní hranice obsahu sušiny, při které ještě probíhá anaerobní fermentace, je 50 %. Heterogenní vlhkostní pole v pevném organickém materiálu způsobuje, že v provozu v praxi je metanogeneze tlumena postupně, a nikoliv rázově. To je velmi významný faktor, mající význam především při zpracování velkých objemů materiálu, jako například skládek komunálních odpadů (PASTOREK, KÁRA, JEVIČ, 2004).

→ Hodnota pH by ve slabě alkalickém prostředí měla ležet okolo 7,5. U kejdy a hnoje tento stav nastává většinou samovolně ve 2. fázi vyhnívacího procesu vlivem tvorby amoniaku.

U kyselých substrátů, jako jsou výpalky, syrovátka a siláž, bývá zapotřebí přidat vápno, aby se hodnota pH zvýšila (SCHULZ, EDER, 2004).

Za optimální hodnotu pH na vstupu do procesu se považuje interval blízký neutrální hodnotě pH = 7 až 7,8. V průběhu procesu se tento parametr mění. Na začátku převažuje aktivita acidogenů a pH může poklesnout na 4 až 6. Při hodnotách pH substrátu menších než 5 se mohou začít objevovat inhibiční účinky na některé kmeny metanogenů. Dojde-li však za příznivých podmínek k jejich rozvoji, zvýší svojí aktivitou číslo pH substrátu až na neutrální hodnotu pH = 7. Některé kmeny metanogenů jsou schopny se rozvíjet i v silně alkalickém prostředí (pH = 8 až 9). V praxi se hodnota pH materiálu na vstupu do procesu upravuje

homogenizací směsných materiálů nebo alkalickými přísadami (<http://search.centrum.cz/index.php?charset=utf>).

→Stupeň míchání, mícháním dosáhneme – substrát je v neustálém kontaktu s mikroorganismy, teplota substrátu je stejnoměrně rozdělena, biologické produkty a meziprodukty jsou rovnoměrně rozděleny, tvorba pěnové vrstvy na povrchu je omezena na nejmenší míru (ŠOCH, 1996)

→Významným parametrem pro hodnocení vhodnosti materiálů pro anaerobní fermentaci je poměr uhlíkatých a dusíkatých látek (PASTOREK, KÁRA, JEVIČ, 2004).

Obvyklé poměry C : N v hnoji od skotu jsou okolo 10 : 1. Z výzkumu ale vyplývá, že zvýší – li se poměr C : N na 25 – 30 : 1, dosáhne se lepšího výtěžku plynu i stupně vyhnití.

Za optimální se považuje pásmo kolem 30 : 1. Vysoký obsah dusíkatých látek se může projevit negativně na složení bioplynu (obsahuje minoritní obsah plynů, jako například amoniaku, oxidu dusného atd.). Mezi materiály s vysokým obsahem N patří exkrementy všech druhů hospodářských zvířat, opačný extrém (vysoký obsah C) tvoří materiály rostlinného původu. V praxi se optimálního poměru C : N dosahuje míšením různých materiálů.

→Vhodnost materiálu pro anaerobní fermentaci může být významně narušena nežádoucími příměsmi. Jedná se zpravidla o látky potlačující mikrobiální rozvoj, především o všechny druhy antibiotik používaných jako léčiva pro zvířata, nebo preventivně jako součást krmných směsí pro drůbež. Do pracovního prostoru reaktorů bychom neměli dávat ani materiály, které jsou již ve hnilobném rozkladu.

→Vhodnost materiálu pro anaerobní fermentaci může být narušena jeho předchozím zpracováním nebo manipulací. Dlouhodobým skladováním materiálu, při kterém proběhne proces aerobní fermentace (kompostování), nebo fyzikálně – mechanickými účinky na materiál (například při potrubní dopravě slamnaté chlévské mrvy atd.), se může narušit následný proces anaerobního zpracování materiálu (PASTOREK, KÁRA, JEVIČ, 2004).

#### **2.6.2.4. Vlastnosti bioplynu**

Hlavními složkami bioplynu je metan a oxid uhličitý, dále obsahuje v různém procentickém zastoupení oxid uhelnatý, vodík, dusík, kyslík, sirovodík a čpavek. Poměr metanu a oxidu uhličitého se může měnit v závislosti na řadě faktorů – složení kvasného materiálu, stupni vyhřátí, obsahu sušiny a teploty vyhřívání. Z dobře pracujícího reaktoru obsahuje bioplyn 65 – 75 % metanu a 25 – 35 % oxidu uhličitého (DOHANYOS, ZÁBRANSKÁ, 2001).

Metan je hlavní energetickou částí bioplynu s účinnou výhřevností 22,0 – 35,8 MJ·m<sup>-3</sup> v závislosti na jeho obsahu v bioplynu. Se vzduchem tvoří výbušnou směs již při 5 – 6 % (PASTOREK, 1995).

Tab. 4. Složení a vlastnosti bioplynu z exkrementů hospodářských zvířat (PŘIKRYL, 1997)

Složky	Objemové rozmezí /%/	Výhřevnost /MJ·m <sup>-3</sup> /	Specifická hmotnost /kg·m <sup>3</sup> /	Kritický tlak /MPa/	Kritická teplota /°C /	Třaskavá směs se vzduchem / % /
CH <sub>4</sub>	55 – 70	35,84	0,714	4,7	-82,5	5 – 15
CO <sub>2</sub>	27 - 44	-	1,977	7,4	+31	-
H <sub>2</sub>	1 – 3	10,8	0,09	1,3	-	4 – 80
H <sub>2</sub> S	0,1 – 1	22,8	1,536	8,9	+100,4	4 – 45
NH <sub>3</sub>	stopy	-	0,771	11,2	+133	16
N <sub>2</sub>	1 - 3	-	1,25	3,3	-147,2	-

Hranice zápalnosti metanu ve směsi se vzduchem je 5 až 15 % objemových. Tato koncentrace metanu již tvoří výbušnou směs. Zápalná teplota bioplynu je určena stejnou hodnotou pro metan, tj. 650 až 750 °C. Velmi důležitá je hodnota hustoty metanu a bioplynu s 60 % podílem CH<sub>4</sub>. Bioplyn je těžší než vzduch a vytváří pro živočichy i člověka smrtelně nebezpečné prostředí v reaktorových nádobách, v prohlubeninách u skládek a podobně. Po separaci obou hlavních složek bioplynu (kterou zpravidla naruší termodifuze), klesá oxid uhličitý dolů (PASTOREK, KÁRA, JEVIČ, 2004).

#### 2.6.2.5. Technická zařízení a technologie zpracování kejdy a chlévské mrvy

A: Zpracování tuhých substrátů, tj. především chlévská mrva

B: Zpracování tekutých substrátů, tj. především kejda prasat nebo skotu

A: Vlastní technologický proces předpokládá umístění bioplynové stanice přímo u produkčních stájí. Technologický proces je zpravidla zahájen vynášením mrvy ze stájí shrnovačem na dopravník, z kterého se mohou plnit jednotlivé fermentační koše nebo je mrva v kontejnerech přepravována na plochu bioplynové stanice

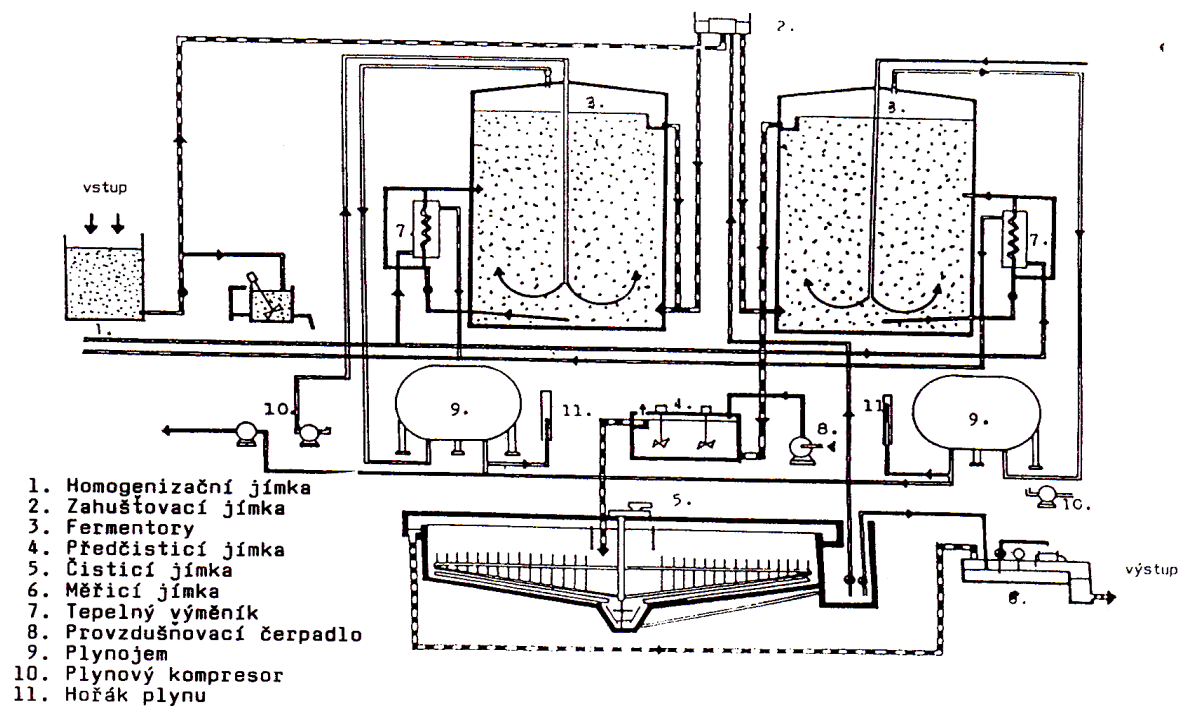
B : Tyto bioplynové stanice mají tyto základní části

- 1) Přípravná část
- 2) Fermentor /vyhňovací nádrž, reaktor/

- 3) Skladování bioplynu
- 4) Úprava a využití vyhnílého kalu
- 5) Využití bioplynu
- 6) Zabezpečovací a řídicí systém (WOLFF, PASTOREK, 1992).

**Bioplynová stanice obecně představuje provoz, který zabezpečuje:**

- 1) příjem a skladování zpracovávané suroviny
- 2) v případě potřeby předúpravu suroviny před vlastní fermentací na základě technických a legislativních požadavků (rozmělnění, úprava pH, pasterizace apod.)
- 3) vlastní fermentaci spojenou s výrobou bioplynu
- 4) uskladnění a následné využití bioplynu
- 5) případnou úpravu (zahuštění) a uskladnění nerozloženého zbytku po fermentaci
- 6) následné využití fermentačního zbytku (KAJAN, 2006).

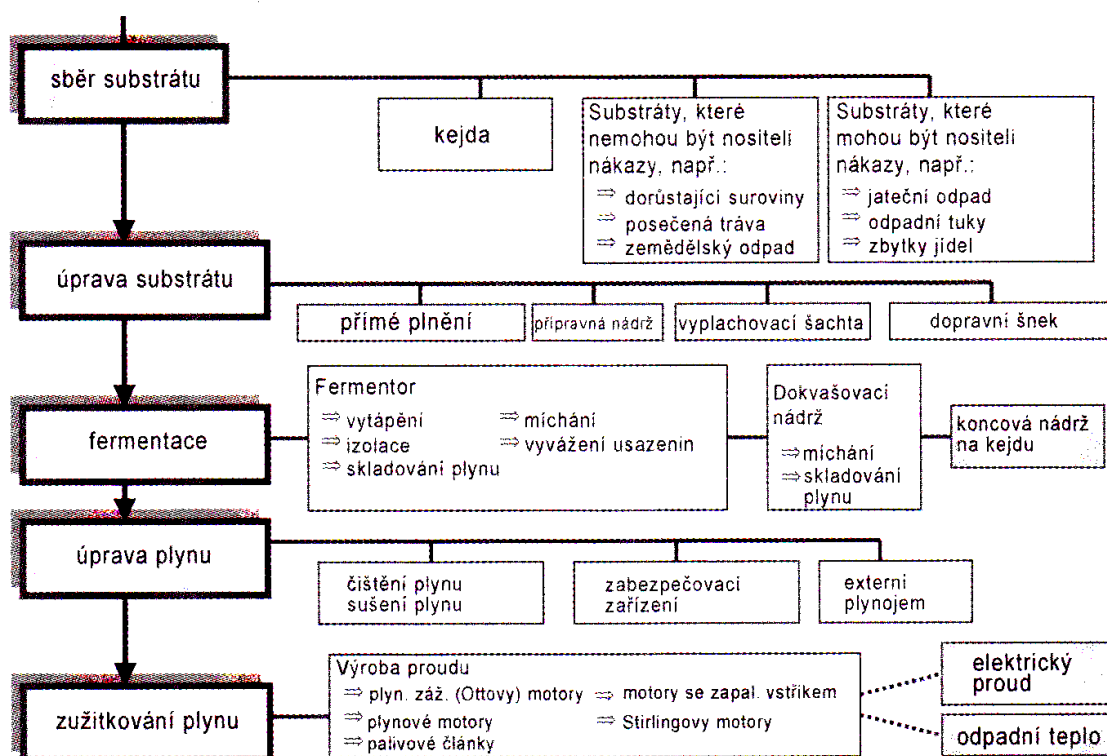


Obr. 9. Bioplynová stanice pro zpracování tekutých substrátů /kejdy/ (WOLFF, PASTOREK, 1992).

## 2.6.2.6. Možnosti využití bioplynu

Bioplyn vznikající v procesu anaerobní digesce lze využít následujícími způsoby:

- výroba tepla (spalování v kotli)
- kombinovaná výroba tepla a elektřiny (kogenerace)
- kombinovaná výroba tepla, elektřiny a chladu (trigenerace)
- dodávky do plynárenské sítě (po přečištění)
- využití v dopravě (po přečištění a úpravě) (INNEMANOVÁ, 2008).



Obr. 10. Pět fází výroby a zužitkování bioplynu (SCHULZ, EDER 2004).

## 2.6.2.7. Fytomasa jako substrát pro anaerobní digesci

Literatura uvádí, že travní biomasa z extenzivních porostů je schopna uvolnit při anaerobní digesci až 700 l bioplynu na 1 kg organické sušiny substrátu. Travní hmota z intenzivně obhospodařovaných a dobře hnojených pozemků dává plynu méně, asi 500 – 550 l/kg organické sušiny substrátu. Naproti tomu četné prameny uvádějí, že produkce kromě jiných četných faktorů závisí na obsahu lehce rozložitelných cukrů a bílkovin v travní hmotě, na snížení obsahu ligninu, na výši celkového obsahu dusíku a tím je kladně ovlivněna i

velikostí dávky dusíku, kterou byl travní porost hnojen (KOLÁŘ, LEDVINA, KUŽEL, 2001).

Biozplynování fytomasy na bioplynových stanicích pro zplynování kejdy a čistírenských odpadů se provádí kofermentací fytomasy s kejdou, přičemž sušina kejdy v substrátu činí vyšší podíl než sušina fytomasy. Kofermentace fytomasy s kejdou umožňuje stabilizovaný proces produkce bioplynu vlivem pufrací schopnosti kejdy v substrátu a omezuje disfunkce způsobené vyššími koncentracemi čpavku. Příklad fytomasy optimalizuje poměr uhlíku a dusíku a kejda vnáší do substrátu potřebné mikroelementy nezbytné pro rozvoj mikroflóry (VÁŇA, SLEJŠKA, 1998).

#### **2.6.2.8. Anaerobní fermentace fytomasy v mokrých procesech**

Většina anaerobních reaktorů kapalinových je budována jako nádoby s volným prostorem, obzvláště v případech, kdy vstupní kapalina je suspenze s vysokým obsahem sušiny a obsahem hrubších částic. Je-li reagujícím substrátem roztok anebo velmi jemná suspenze, jsou používány i různé druhy reaktorů s náplněmi či výplněmi (CHEN, HASHIMOTO, 1980).

Biozplynování fytomasy v tekutých suspenzích o sušině cca 10 % se provádí v kontinuálních technologiích používaných v mokrých kofermentačních systémech. Na rozdíl od kofermentace fytomasy s kejdou představuje v těchto systémech fytomasa celkový nebo převažující podíl sušiny substrátu. Optimální sušiny substrátu je dosahováno recyklací procesní tekutiny z odvodnění z fermentovného substrátu. Recyklace tekutiny z odvodnění k čerstvé fytomase zabezpečuje stabilitu procesu (VÁŇA, SLEJŠKA, 1998). Recyklovaná tekutina je nejen očkovacím médiem, ale má rovněž významné pufrací účinky (ZAUNER, 1985).

Anaerobní fermentace fytomasy v tekutém substrátu vyžaduje objemné biofermentory a je energeticky náročná na vyhřívání, čerpání a odvodňování. Pomalá reprodukovatelnost anaerobních mikroorganismů zpřičňuje potřebu delšího období setrvání substrátu ve fermentoru, zpravidla nad 15 dní, což snižuje jeho možné zatížení. Problémový bývá rovněž i záběh bioplynové stanice tohoto typu, než dojde k vytvoření optimálního poměru mezi počtem hydrolytických, acidogenních a metanogenních bakterií (VÁŇA, SLEJŠKA, 1998).

#### **2.6.2.9. Anaerobní fermentace fytomasy v suchých fermentačních procesech**

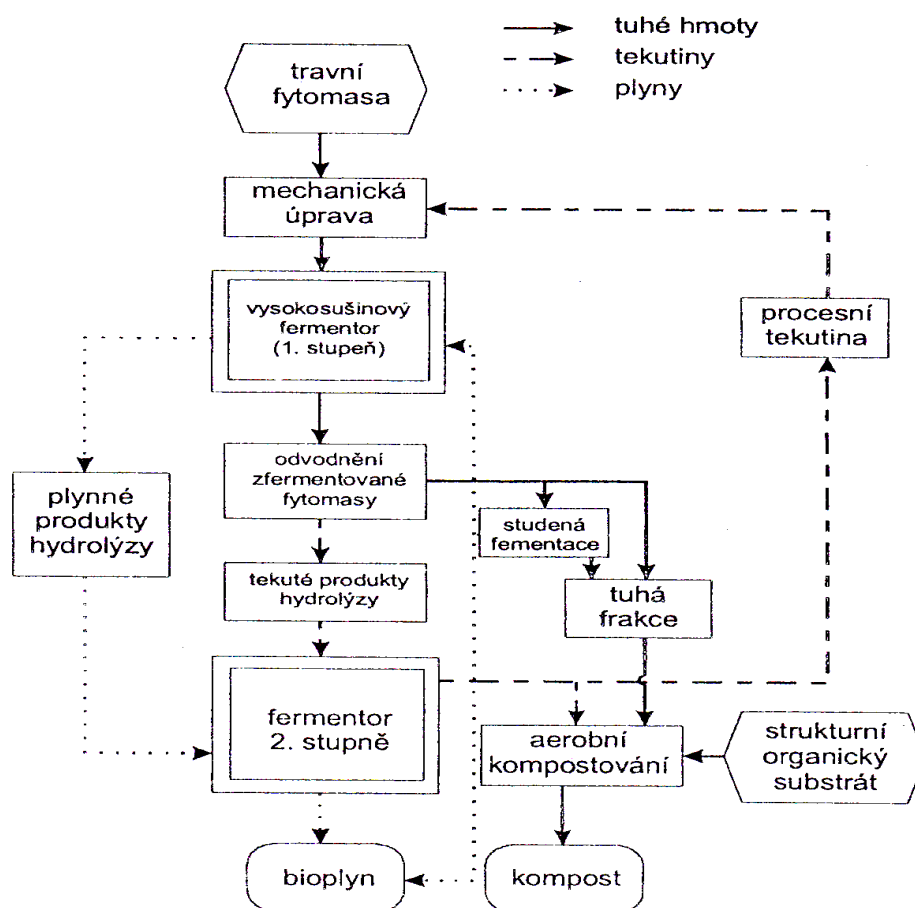
Suché technologie anaerobní digesce pracují se sušinou vsázky vyšší než 25 %, většinou v rozpětí 30 – 35 % (VÁŇA, SLEJŠKA, 1998). V tomto rozpětí sušiny zjistil OLESZKIEWICZ (1997) nejintenzivnější produkci bioplynu 1,5 m<sup>3</sup> na 1 m<sup>3</sup> fermentačního

prostoru za den při 40 % destrukci organické hmoty, aniž by koncentrace nižších mastných kyselin překročila inhibiční mez.

V suchých fermentačních technologiích se používají procesy mezofilní v rozpětí teplot 35 – 40 °C nebo termofilní v rozpětí teplot 55 – 60 °C (WICHERT, WITTRUP, ROBEL, 1994).

Termofilní mikroflóra je schopna degradovat více proteinů než mezofilní a je až dvojnásobně tolerantní k volnému amoniaku (VÁŇA, 1997).

Většina autorů se shoduje v tom, že při anaerobní digesti fytomasy nejsou podstatné rozdíly ve výtěžku metanu mezi termofilním a mezofilním procesem a z důvodů nižších tepelných ztrát je možné doporučit pro tento účel procesy mezofilní (VÁŇA, 1997).



Obr.11. Blokové schéma hmotných toků v bioplynové stanici na travní fytomasu (VÁŇA, SLEJŠKA, 1998).

Významným technologickým prvkem většiny systémů pro anaerobní digesti fytomasy je recirkulace kapalné fáze. V jednostupňových systémech je tato recirkulace



zpravidla spojena s odvodněním zfermentovaného substrátu. Recirkulací procesní tekutiny stoupá doba jejího zdržení v systému ve srovnání s dobou zdržení sušiny, prodlužuje se zdržení mikrobů a zvyšuje se mikrobiální hustota ve fermentorech. Akumulace nezmetabolizovaných rozpustných látek, např. anorganických solí, je v tuhé části substrátu zpravidla vyšší než v tekuté části (NORDBERG, 1996). Recirkulace procesní vody stabilizuje fermentační proces a snižuje teplotní ztráty.

Pro biozplynování je zvlášť vhodná fytomasa při sklizňové vlhkosti nad 45 % a s poměrem C:N v rozpětí 20 - 30 : 1. Sušší fytomasa a fytomasa se širším poměrem C : N je vhodnější pro přímé spalování. Při širších poměrech C:N nastávají problémy s okyselením substrátu.

Chemické složení sušiny fytomasy, zejména pufrovitost, poměr C : N, obsah proteinů, polysacharidů a ligninu, je u fytomasy značně proměnlivé v závislosti na druhu rostlin, půdních a klimatických podmínkách, hnojení, době a způsobu sklizně a způsobu konzervace (VÁŇA, SLEJŠKA, 1998). Anaerobní digesce fytomasy ve srovnání se zvířecími fekáliemi je komplikovanější vzhledem k vyššímu obsahu nízkopolymerních uhlovodíků mikrobiologicky lehce přeměnitelných na organické kyseliny, což vede k nadměrnému okyselení (STEWART, 1980).

Metanogenezi fytomasy ovlivňuje stupeň lignifikace buněčných stěn. Lignin se v anaerobních podmínkách téměř nerozkládá (HOBSON, BOUSFIELD, SUMMERS, 1974). Z literárních údajů vyplývá, že jakákoliv fytomasa může být efektivně biozplynována po vhodné mechanické úpravě a po optimalizaci chemických jakostních znaků a při vhodné volbě technologií anaerobní digesce. Pro biozplynování jsou nejvhodnější pícniny (VÁŇA, 1997).

K výrobě bioplynu mimo vegetační období, když je jeho spotřeba k výrobě tepla nejvyšší, lze fytomasu konzervovat sušením, senážováním a silážováním. Technologické postupy této konzervace jsou shodné jako při konzervaci píce. Příprava energosena pro zplynování a jeho případná další úprava na sennou moučku nebo pelety je zřejmě nákladnou záležitostí. Pro zpracování travních porostů, jetelů a vojtěšek se v zahraničí nejlépe osvědčuje senážování s cílem zavadnutí fytomasy na sušinu 25 – 40 % a její zpracování svinovacími lisami do obřích válcových balíků obalených folií. Tímto způsobem se nejrychleji aktivují bakterie mléčného kvašení a zamezuje se rozvoji nežádoucích mikroorganismů.

Produkce plynu v zařízeních anaerobní digesce je poměrně velmi rozdílná. U čerstvě otevřených balíků travní senáže je produkce  $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$  organické sušiny, 5 dnů po otevření

0,37 m<sup>3</sup>·kg<sup>-1</sup> a 30 dnů po otevření 0,225 m<sup>3</sup>·kg<sup>-1</sup> organické sušiny (VÁŇA, SLEJŠKA, 1998).

Čerstvá travní hmota z intenzivních porostů dává 0,7 m<sup>3</sup>·kg<sup>-1</sup> organické sušiny, z extenzivních porostů jen 0,55 m<sup>3</sup>·kg<sup>-1</sup> org. sušiny. Rozdíl v produkci plynu z čerstvé trávy a z čerstvě otevřeného balíku travní senáže není prakticky žádný. Seno dává horší výsledky než čerstvá senáž. Při hodnocení produkce plynu nelze zapomenout, že bioplyn je vlastně směs metanu a oxidu uhličitého, který plyn vlastně znehodnocuje. Bioplyn obsahuje 50 – 75 % metanu a obsah metanu je tím vyšší, čím je vyhřívací teplota nižší, čím je kratší vyhřívací doba a čím je substrát bohatší na tuky, cukry a bílkoviny, např. mladý travní porost dá bioplyn s 65 - 70 % metanu, zatímco slamnatý hnůj jen s 50 - 60 % metanu (KUŽEL, KOLÁŘ, LEDVINA, KLUFOVÁ, 2001).

### **2.6.3. Kapalná motorová biopaliva**

Jako motorová biopaliva mohou být použity rostlinné oleje, jejich deriváty hlavně estery mastných kyselin jako jsou metylestery nebo etylestery, nižší alkoholy jako metanol, etanol, propanol a různé chemické produkty vyrobené z obnovitelných surovin, jako je dimetyler, uhlovodíky, etyl terciární butyl éter (ETBE) aj. V současné době se používají hlavně dva druhy biopaliv:

metylestery mastných kyselin (FAME) označované jako bionafta, biodiesel, bioetanol, bezvodý líh.

Tato motorová biopaliva se používají jednak jako 100 %-ní paliva, jednak jako přísady do klasických paliv.

Předmětem intenzivního vývoje jsou v současné době tzv. biopaliva II. generace, což jsou biopaliva vyrobená synteticky na základě pyrolýzy biomasy nebo ze syntézního plynu získaného z biomasy.

Současné ceny motorových biopaliv jsou 1,5 až 2-krát vyšší než ceny klasických motorových paliv vzhledem k vyšším nákladům na jejich výrobu. Pohybují se okolo 19,50 Kč/l u FAME a okolo 16 Kč/l u bioetanolu, při cenách (bez daně) benzínu cca 10 Kč/l a motorové nafty 9 Kč/l. Aby byla biopaliva prodejná, musí být tento rozdíl kompenzován, což se provádí formou státních finančních dotací. Hlavní finanční státní podporou je dle doporučení EU nulová spotřební daň. V současné době je v ČR jeden litr automobilového benzínu zatížen spotřební daní 11,84 Kč a motorová nafta 9,95 Kč. Při nulové spotřební dani jsou o tyto hodnoty fakticky sníženy prodejní ceny biopaliv (SOUČEK, 2006).

## 2.6.4. Výroba a využívání bioetanolu

Základním článkem řetězce výroby biopaliv na bázi bioetanolu je zemědělec. Je známo, že produkce obilovin v ČR trpí nedostatkem odbytu a je také známo, že přibývá orná půda ležící ladem. Objem nadprodukce obilovin se pohybuje okolo 1 milionu tun a objem orné půdy, která se stává úhorem, se pohybuje okolo 200 tisíc ha. Výhodou obilovin vhodných pro výrobu lihu je to, že nejsou z agrotechnického hlediska tak náročné jako obiloviny potravinářské a navíc se vyznačují dobrými výnosy i v oblastech s horšími klimatickými podmínkami. Je zde tedy šance využít nejen přebytku potravinářské produkce, ale i nedostatku při obhospodařování půdy v oblastech s vyšším podílem úhorů.

Lihovarský průmysl ČR, který není schopný nastoupit do role zpracovatele bez výstavby nových, moderních závodů, se v této fázi dostává do té výhody, že vznikající zpracovatelská kapacita bude odpovídat současnému stavu techniky. V současné době můžeme pozorovat masivní růst nových lihovarů na celé zeměkouli, nejvíce na americkém kontinentu a ve východní Asii. Evropu čeká výstavba několika desítek nových lihovarů a bioetanol se brzy zařadí mezi světově sledované palivářské komodity. Vznikající potenciál lihovarské výroby se díky rozvoji posouvá velmi rychle kupředu, což můžeme s uspokojením konstatovat i ve sféře ekonomické. A to je pozitivní z hlediska požadavků na způsob podpory projektu z prostředků státního rozpočtu (DIVIŠ, 2004).

### 2.6.4.1. Charakteristika, vlastnosti bioetanolu

Bioetanol jako motorové palivo je bezvodý etylalkohol, vyrobený z přírodních obnovitelných surovin.

Jako motorové palivo se používá v čisté formě, jako přídavek do benzinů nebo po chemické transformaci na etyl terciární butyl éter (obsahuje 47% etanolu) (SOUČEK, 2006).

V porovnání s naftou i s benzinem má bioetanol nízkou výhřevnost, oproti naftě nízké cetanové číslo (CČ) a velmi malou mazací schopnost, v porovnání s benzinem vysoké oktanové číslo. Přidáním bioetanolu do benzínu se zvyšuje oktanové číslo, ale i tlak par. Kvůli nízké výhřevnosti je měrná spotřeba bioetanolu vyšší než spotřeba benzínu nebo nafty, takže palivový systém se musí v případě vyššího obsahu bioetanolu v palivu předimenzovat. Skupenské výparné teplo bioetanolu je v porovnání s benzinem vyšší a působí výraznější ochlazení palivové směsi přiváděné do motoru, čímž se dosáhne většího naplnění válců palivovou směsí. Vyšší skupenské výparné teplo ale působí problémy při spouštění motoru za nízkých teplot. Používá se pomocné zařízení pro spouštění za nízkých teplot, případně se motor spouští na benzin.

Velké problémy vyvolá i malé množství vody v palivu, které může být příčinou rozpadu směsi bioetanolu s benzinem na dvě fáze, přičemž bioetanol přechází do vodní fáze. Bioetanol může způsobit korozi některých součástí, zejména palivového příslušenství motoru, i když tuto nepříznivou vlastnost lze zmírnit přidáním inhibitorů koroze. Agresivně působí na některé plasty a pryže (LAURIN, 2006).

Vzhledem k nižší výhřevnosti 26,8 GJ/kg oproti benzínu (43,8 GJ/kg), což je 1,6 krát menší, je jeho spotřeba při provozu motorů vyšší (SOUČEK, 2006).

Tab. 5. Kvalitativní ukazatele etanolu (SOUČEK, 2006)

Ukazatel	ČSN EN 65 6511
Vzhled	čirý, bez zákalů a sedlin
Obsah etanolu před denaturací	min. 99,7 % V/V
Obsah vody	max. 0,39 % V/V
Hustota při 20 °C	min. 791 kg · m <sup>-3</sup>
Obsah etanolu po denaturaci	min. 95,6 % V/V
Obsah volných kyselin	max. 50 mg/le
Odparek	max. 15 mg/le
Obsah denaturačního prostředku	2,0 – 4,0 % V/V

le – litr etanolu – jednotka stanovená zákonem o lihu č. 61/97 sb. §2 ods.

V/V – objem v objemu

#### 2.6.4.2. Technologie výroby bioetanolu

Bioetanol se vyrábí fermentací jednak ze škrobnatých surovin (brambory, obilí, kukuřice), jednak z cukernatých surovin (cukrová řepa, cukrová třtina). Použitá surovina nemá vliv na vlastnosti konečného výrobku. Odlišná výrobní technologie ovlivňuje náklady na jeho výrobu. V poslední době je věnována velká pozornost výrobě etanolu z lignocelulóзовých surovin (jako je sláma, dřevní odpady, rychle rostoucí energetické plodiny, řepné řízky, vylisovaná třtina aj.), což je motivováno relativně nízkou cenou suroviny a jejich dostupností.

Výroba bioetanolu je založena na fermentačním procesu, tj. působení enzymů (bílkovinných katalyzátorů) mikrobiální buňky některých kvasinek, který se též nazývá kvašení.

Proces probíhá převážně bez přístupu vzduchu (anaerobně), při čemž provzdušnění kvasného media, hlavně na počátku fermentace, je příznivé pro nárůst buněk a jejich aktivitu.

Přímo zkvasitelné jsou jen monosacharidy, jejichž molekula obsahuje 6 uhlíků. Složitější sacharidy musí být před zkvašováním hydrolyzovány na monosacharidy působením vlastních enzymů mikroorganismů, nebo přidáním látek, zpravidla kyselin, které hydrolyzu způsobí. Pro průmyslové využití se používají tzv. pravé kvasinky, které se řadí do druhu *Saccharomyces cerevisiae* (SOUČEK, 2006).

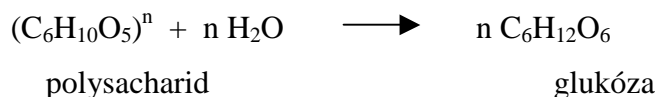
Vhodnou surovinou pro výrobu etanolu jsou obiloviny, ze kterých lze vyrobit 2 – 3 tuny etanolu z jednoho hektaru. Z ekologického hlediska jsou obiloviny velmi vhodné, protože výroba etanolu z obilí je bezodpadová.

Nejvhodnější obilovinou pro výrobu etanolu u nás se stalo žito, velmi vhodná je i pšenice. Tritikale se pro svoji vysokou amylolytickou aktivitu plně vyrovná vlastnostem žita a je proto také vhodnou surovinou pro výrobu etanolu (MOUDRÝ, STRAŠIL, 1998).

Výroba etanolu z obilovin zahrnuje v prvním technologickém kroku enzymatickou konverzi škrobu obilného zrna na zkvasitelné cukry pomocí syntetického amylázového komplexu a dále kvasnou technologii výroby etanolu pomocí kvasinek rodu *Saccharomyces* s konečnou destilační fází. Vhodnost druhu obiloviny pro výrobu etanolu určuje obsah škrobu v zrně a nízký obsah bílkovin v zrně (TICHÝ, 2001).

### **Výroba bioetanolu zahrnuje tyto základní technologické stupně:**

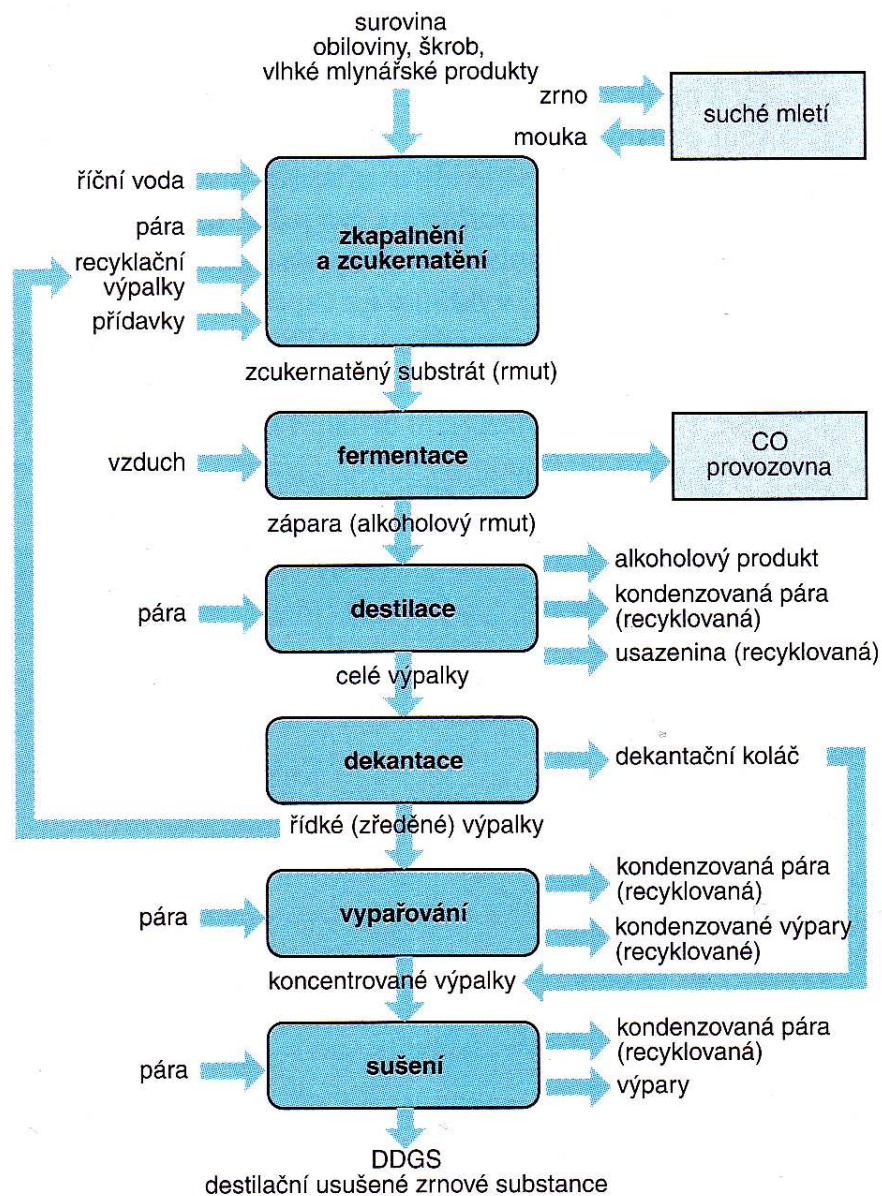
1. Příprava suroviny (mletí)
2. Přeměna polysacharidů na monosacharidy (zkapalnění a zcukernatění)



3. Fermentace



4. Koncentrace (destilace a rektifikace)
5. Zpracování odpadů (dekantace, sušení) (SOUČEK, 2006).



Obr. 12. Základní technologické stupně výroby bioetanolu z obilovin (PASTOREK, KÁRA, JEVIČ, 2004).

Prvním stupněm výroby bioetanolu z obilí nebo kukuřice je mechanická předúprava, tj. drcení a mletí za sucha nebo za mokra, při kterém se odstraní slupky zrn a příměsi.

Dalším stupněm je zcukernatění, ve kterém se působením enzymů při zvýšené teplotě, případně i tlaku, převede obsažený škrob v obilí na zkvasitelný sacharid, převážně na glukózu.

Vzniklá ztekucená zápara se v dalším stupni zkvašuje ve fermentorech působením kvasinek a vzniká etanol a oxid uhličitý, který se z procesu odvádí, čistí, případně zkapalňuje k dalšímu prodeji. Fermentace probíhá bez přístupu vzduchu při pH 4 - 6 a teplotě 27 – 32 °C.

Obsah etanolu ve zkvašené zápaře je 6 – 14 % a vedle etanolu obsahuje v menším množství i vedlejší látky, jako jsou organické kyseliny, aldehydy, ketony, metanol, vyšší alkoholy, estery, glycerol aj.

Zkvašená zápara se dále podrobuje destilaci, při které se získá destilát, což je surový etanol a destilační zbytek, tj. obilní výpalky. Při výrobě bioetanolu určeného jako motorové palivo je další rafinace, tj. čištění surového etanolu, zaměřena na odstranění vedlejších látek, jako jsou kyseliny, aldehydy, ketony a přiboudlina (výševroucí látky), které mohou nepříznivě působit na palivový systém motoru a nepříznivě ovlivňovat odvodňování etanolu. Provádí se na soustavě účinných rektifikačních kolon, kde se získá bioetanol s obsahem max. 95,5 % hm. etanolu, což je azeotropická směs vody a etanolu. S ohledem na snížení spotřeby tepelné energie jsou kolony propojeny tak, že páry produktu z jedné kolony ohřívají vařák druhé kolony a pracují při různých tlacích (snížený tlak v jedné koloně).

Výpalky z destilace se podrobují separaci dekantací, zahušťováním na odparkách a sušením. Usušené výpalky v granulované formě se používají jako krmivo. Tekuté výpalky lze využít též k výrobě bioplynu.

#### **2.6.4.3. Užití bioetanolu**

Bioetanol se používá jako přímý přírůstek do motorových benzinů a v množství do 5 % objemu nebo ve formě ETBE v množství do 15 % objemu je palivo použitelné do všech typů zážehových motorů. V současné době se v rámci EU pracuje na palivu s vysokým obsahem etanolu E85 vhodném pro upravená vozidla typu FFV (flexi fuel vehicle), jejichž rozvoj se očekává v Evropě. Paliva s přírůstkem bioetanolu se používají v USA, ve Francii, v SRN a paliva s vysokým obsahem bioetanolu se používají hlavně ve Švédsku a ve velké míře v Brazílii, kde se používá jak 95 % ní, tak odvodněný.

Použití bioetanolu ve formě ETBE je bezproblémové a je omezeno prakticky pouze normovaným obsahem kyslíku v palivu 2,7 %, což umožňuje maximální přírůstek ETBE do benzinů 17,2 %. Pozitivní vlastností ETBE oproti metyl terciárnímu butyl éteru (MTBE) je jeho nižší rozpustnost ve vodě a vyšší biologická odbouratelnost (SOUČEK, 2006).

Použití etanolu jako paliva pro spalovací motory je problém, který je diskutován v řadě vyspělých i rozvojových zemích. Jak fyzikální, tak termodynamické vlastnosti etanolu jsou příčinou toho, že palivo není pro použití ve vznětových motorech příliš vhodné. Jeho použití

však nabízí podstatné zlepšení emisních parametrů motorů, a proto je v řadě případů směs etanolu a motorové nafty výhodná (KŘEPELKA, 1997).

Při použití bioetanolu jako motorového paliva je nutné omezit některé jeho negativní vlastnosti, jako je hygroskopičnost způsobující vysazování směsi voda-etanol, korozivní působení na některé součástky motorů, zvýšená těkavost a nižší výhřevnost (SOUČEK, 2006).

#### **2.6.4.4. Výhody použití etanolu jako alternativního paliva**

Zdroje lihových paliv jsou rovnoměrně rozmístěny po celé zeměkouli. Použití v benzinových motorech s sebou přináší snížení koncentrací některých škodlivých složek výfukových exhalací.

Proti benzínu alkoholy hoří rychleji a tím způsobují účinnější vývin točivého momentu a spalováním alkoholu se vyvine větší objem spalin, který způsobí vyšší tlaky ve válci motoru.

#### **2.6.4.5. Nevýhody použití etanolu jako alternativního paliva**

Hlavní nevýhodou ve srovnání s benzinem je nízká výhřevnost a tím i vyšší časová a měrná spotřeba paliva a z toho plynoucí potřeba větších palivových nádrží.

Nižší odpařitelnost alkoholů ztěžuje studené starty.

Užití etanolu sice přináší snížení koncentrací CO a HC, avšak koncentrace aldehydů a NO<sub>x</sub> poněkud rostou (TICHÝ 2001).

#### **2.6.5. Řepka pro výrobu bioolejů a bionafty**

Rostoucí tlak na ochranu životního prostředí vyústil do zavedení výroby maziv na bázi řepkového oleje. Hlavní předností těchto tzv. bioolejů je velmi dobrá biologická rozložitelnost. Postupně nahrazují v technicky zdůvodněných oblastech tradiční ropná maziva (SOUČKOVÁ, MOUDRÝ, 2006).

Pro výrobu bionafty je základní surovinou řepkový olej. Řepka ozimá má u nás dobré podmínky k pěstování, proto je v současné době dostatečně rozšířena. Řepka je velmi užitečná plodina, neboť lze ze semen využít veškeré produkty či meziprodukty (surový olej + pokrutiny, čistý filtrovaný olej, metylestery mastných kyselin - bionafta a glycerin). Vedle olejnatých semen lze s úspěchem využívat i řepkovou slámu pro vytápění v kotelnách (PETŘÍKOVÁ, 2001).

Metylestery mastných kyselin je směs esterů mastných kyselin obsažených ve výchozí přírodní surovině, tj. v příslušném rostlinném oleji (SOUČEK, 2006).

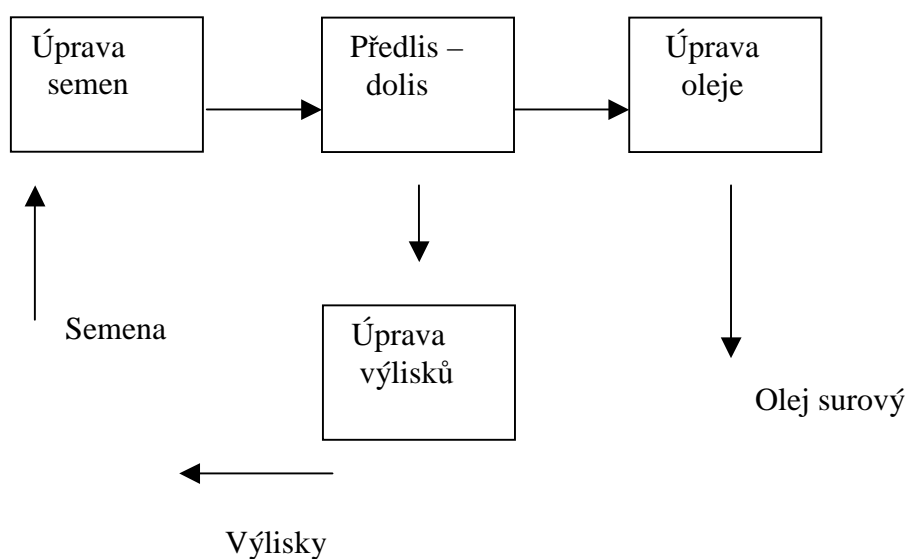


Nejpoužívanějšími surovinami jsou řepkový, slunečnicový, sójový a palmový olej. Nejpoužívanějšími metylestery v ČR a v Evropě jsou estery z řepkového oleje a kvalitativní normy na FAME vycházejí z těchto esterů, které jsou označovány též jako FAME nebo MEŘO.

### 2.6.5.1. Zpracování olejnatých semen

K výrobě rostlinných olejů z olejnatých semen se používají dva základní technologické postupy: lisování semen a extrakce organickým rozpouštědlem.

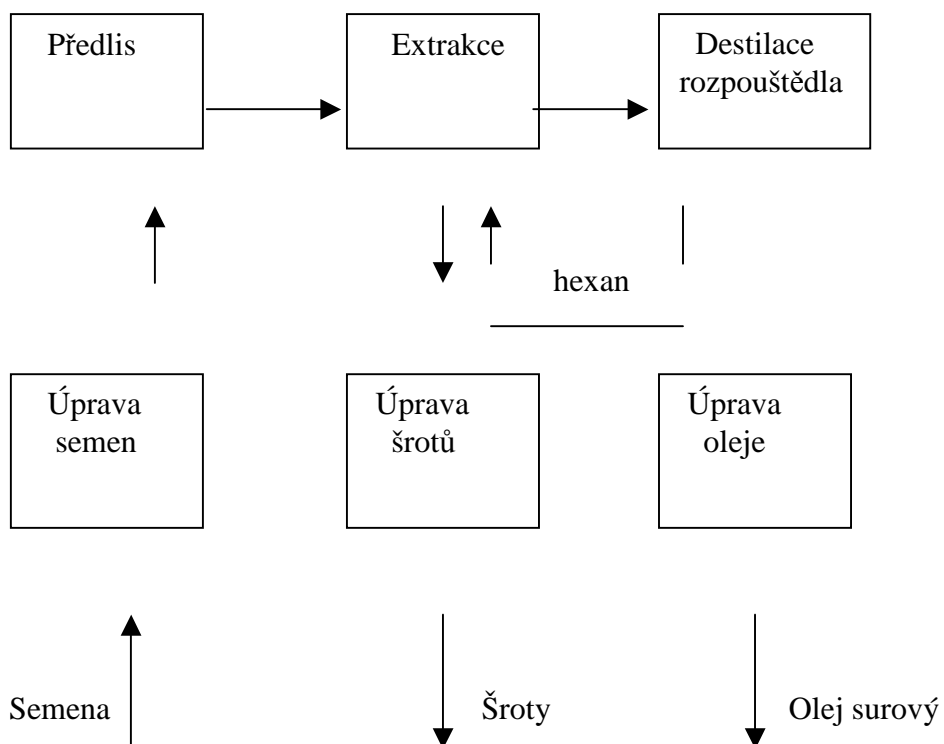
Lisování se uskutečňuje v šnekových lisech buď bez ohřevu výchozích semen, tzv. studené lisování, nebo s jejich tepelnou předúpravou. Výroba zahrnuje drcení, případně vločkování semen, tepelnou kondicionaci, vlastní lisování systémem předlis-dolis, čištění oleje zpravidla filtrační nebo odstředivou separací a úpravu výlisků. Při zpracování semen řepky (obsah oleje cca 42 %) se dosahuje obsahu oleje ve výliscích 8 – 12 %, což odpovídá výtěžnosti cca 80 %. Tato technologie se používá obvykle pro nižší výrobní kapacity (SOUČEK, 2006).



Obr. 13. Schema výroby surového oleje systémem předlis – dolis (SOUČEK, 2006).

Při extrakci olejnatých semen se používá systém předlis – extrakce, kde vstupní semena se upravují vločkováním a tepelnou kondicionací, lisují se na obsah oleje cca 18 – 20 % a následně extrahují rozpouštědlem (hexanem). Rozpouštědlo se z oleje odstraní destilací a vrací zpět do procesu. Šroty z extrakce se zbavují rozpouštědla a chladí.

Získaný olej se filtruje. Šrotů obsahují 1 – 2 % oleje, což odpovídá výtěžnosti cca 98 %. Technologie se používá při vyšších kapacitách zpracování semen.



Obr. 14. Schéma výroby surového oleje systémem předlis – extrakce (SOUČEK, 2006).

Pro výrobu MEŘO je požadováno, aby řepkový olej obsahoval minimální množství volných mastných kyselin a obsah fosfolipidů byl pod 10 ppm P. Proto se surový olej dále upravuje odslizením (degumming), kdy se odstraní fosfolipidy a chemickou neutralizací nebo fyzikální rafinací se odstraní volné mastné kyseliny. Řepkový olej ze studeného lisování má nízký obsah fosfolipidů a může se použít přímo k přeesterifikaci po případné neutralizaci.

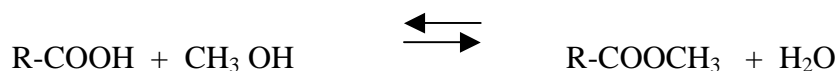
Většina stanovených parametrů závisí na použité technologii a dodržení výrobních postupů. Některé parametry jsou dány použitou surovinou a technologicky se nedají ovlivnit (SOUČEK, 2006).

### 2.6.5.2. Technologie výroby FAME

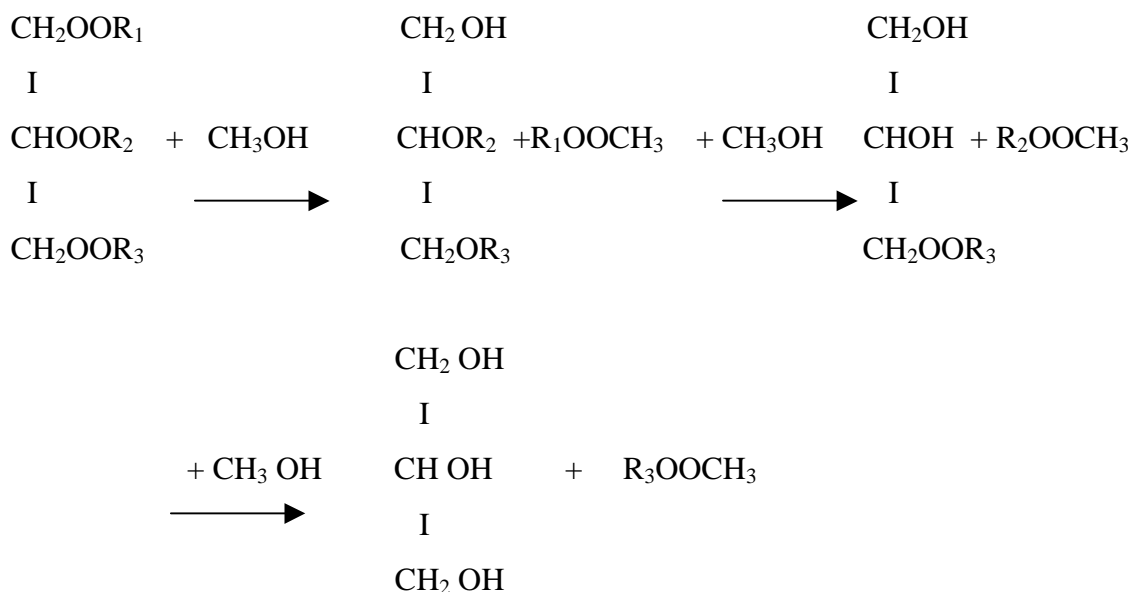
Metylestery mastných kyselin se mohou vyrábět přímou esterifikací mastných kyselin metanolem, nebo přeesterifikací přírodních olejů a tuků metanolem, což je základní technologický postup výroby FAME.

#### Esterifikace:

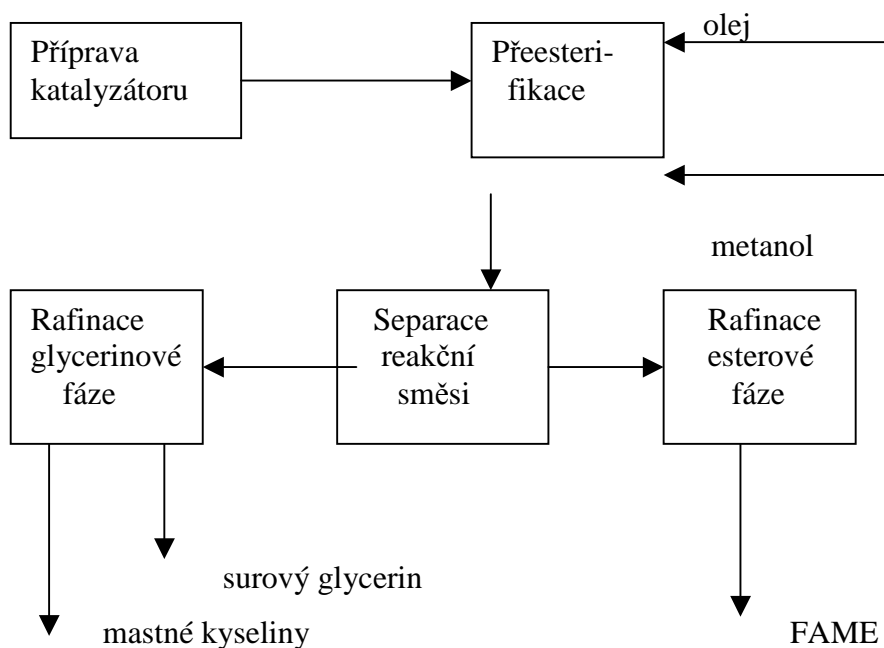
Mastné kyseliny se získávají hlavně štěpením olejů a tuků a jejich esterifikace se provádí reakcí s bezvodým metanolem při teplotách nad 110 °C, zpravidla v přítomnosti kyselých katalyzátorů (kyselina sírová, p-toluensulfonová, katexy), za normálního nebo zvýšeného tlaku



Přeesterifikace se provádí v různých technologických modifikacích, kdy bezvodý metanol reaguje s olejem (triacylglycerol) v přítomnosti alkalických homogenních katalyzátorů (NaOH, KOH, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, metanolát sodný aj.) nebo heterogenních katalyzátorů (pevné lože), při normální nebo zvýšené teplotě, v jednom nebo několika stupních. Po reakci přeesterifikace se reakční směs rozdělí na dvě nemísitelné fáze. Esterová fáze se neutralizuje, promývá a zbavuje metanolu a vody, čímž se získá FAME. Druhá tzv. glycerinová fáze se zbaví metanolu, působením minerální kyseliny se zneutralizuje zbylý katalyzátor a rozloží se obsažená mýdla. Získá se surový glycerin a mastné kyseliny. Proces může být veden šaržově nebo kontinuálně. Přeesterifikace triacylglycerolů je třístupňová rovnovážná reakce a probíhá přes diacylglyceroly a monoacylglyceroly. Dosahuje se celkové konverze triacylglycerolů více jak 98 % (SOUČEK, 2006).



### Schéma výroby FAME:



Obr. 15. Schéma technologie výroby FAME přeesterifikací rostlinných olejů (SOUČEK, 2006).

Výroba FAME byla v ČR zahájena v roce 1991 a její rozvoj byl podpořen tzv. Oleoprogramem vyhlášeným ministerstvem zemědělství v roce 1992. Produkce FAME v ČR za období 1995 až 2005 je uvedena v tabulce (SOUČEK, 2006).

Tab. 6. Produkce MEŘO v ČR (kt) (SOUČEK, 2006)

Rok	1995	2000	2003	2005*
Produkce	11,8	67,2	113,5	130
Vývoz	2,4	0,07	43,5	120
Dovoz	8,4	3,2	0,06	
Celková spotřeba v ČR	17,8	70,3	70,0	10,0

\* odhad

Česká republika je tradičním producentem řepky olejné, která je s ohledem na geografickou polohu ČR hlavní olejninou. Vhodné klimatické podmínky na většině území ČR jsou výhodným základním předpokladem pro úspěšnou a ekonomickou produkci řepky, která se z větší části zpracovává na řepkový olej pro potravinářské a technické užití a částečně se exportuje.

V posledních dvaceti letech došlo v ČR k velkému rozvoji pěstování řepky olejné, jednak v důsledku zvýšených požadavků domácího a zahraničního trhu, jednak vzniklým stavem zemědělských producentů, u kterých silně poklesl odbyt ostatních produktů zemědělské rostlinné výroby a uvolnily se tak významně plochy orné půdy. Podíl řepky olejné na celkové produkci olejnin dosahuje cca 90 %.

V ČR se osívá ročně řepkou 260 až 340 tisíc hektarů a nejvíce bylo oseto v roce 2001, a to 344 tisíc hektarů. Hektarové výnosy se pohybovaly mezi 2,6 – 2,9 t/ha, pokud pomíneme nepříznivý rok 2003 (1,55 t/ha) a mimořádně příznivý rok 2004 (3,70 t/ha) (SOUČEK, 2006).

Tab. 7. Technické požadavky na MEŘO podle ČSN 65 6507 (KÁRA, 2001)

Vlastnosti	Měrné jednotky	hodnota
Hustota při 15°C	kg · m <sup>-3</sup>	860 - 900
Kinematická viskozita při 40 °C	mm <sup>2</sup> · s <sup>-1</sup>	3,5 - 5,0
Filtrovatelnost (CFPP)	°C	- 5
Bod vzplanutí (PM)	°C	110
Síra	% hm.	0,02
Voda	mg · kg <sup>-1</sup>	500
Obsah mechanických nečistot	mg · kg <sup>-1</sup>	24
Popel	% hm.	0,02
Číslo kyselosti	mg KOH	0,5
Korozivní působení	stupeň koroze	třída 1
Celkový obsah glycerolu	% hm.	0,24
Volný glycerol	% hm.	0,02
Fosfor	mg · kg <sup>-1</sup>	20
Cetanový index	-----	48
Esterové číslo	mg KOH na 1 kg	185 - 190
Alkalické kovy K, Na	mg · kg <sup>-1</sup>	10
Výhřevnost	MJ · kg <sup>-1</sup>	37,1

### 2.6.5.3. Užití FAME

Hlavní užití FAME je jako motorové palivo do vznětových motorů.

#### **FAME se užívá v podstatě třemi způsoby:**

- jako přídatek do motorové nafty v množství do 5% obj., kdy je palivo použitelné do všech vznětových motorů.
- jako směs s motorovou naftou s vyšším obsahem než 5 % obj., kdy se vyžaduje schválení výrobce motoru. V ČR se vyrábí tzv. směsná bionafta, s obsahem 31 % obj. MEŘO podle ČSN 65 6507.
- jako čisté motorové palivo, kdy se vyžaduje schválení výrobce motorů. Toto použití se využívá především v SRN.

Důležitým přínosem FAME jako motorového paliva je snížení znečištění životního prostředí. FAME se velmi dobře biologicky rozkládá, biologická rozložitelnost podle testu CEC-L.33-A-93 je více jak 90 %, přičemž motorová nafta má tuto hodnotu 20 – 40 %.

Výfukové plyny motorů při použití FAME obsahují méně škodlivých látek a oproti motorové naftě se snižují emise:

oxidu uhelnatého	na 40 %
pevných částic	na 60 %
uhlovodíků	na 45 %
oxidu siřičitého	na 5 %
obsah oxidu dusíku se zvyšuje o 5 – 10 %	

Významným přínosem FAME je snížení emisí oxidu uhličitého, které je oproti motorové naftě nižší o 60 – 80 %, v závislosti na využití vedlejších produktů při výrobě FAME.

Při použití FAME se projevují i jeho negativní vlastnosti jako vyšší rozpouštěcí schopnost, tj. vyšší agresivita vůči běžným pryžovým součástkám, těsnění a nátěrům. Nové konstrukce motorů však s těmito vlastnostmi již počítají. Projevuje se i větší ředění motorového oleje, což vyžaduje zkrácení lhůt jeho výměny.

MEŘO má výhřevnost 37,0 MJ/kg, což je 1,15-krát menší než motorová nafta (42,7 MJ/kg). To má za následek i odpovídající zvýšení spotřeby.

FAME vykazuje horší odolnost vůči změnám při skladování zvláště v přítomnosti vody. Doporučuje se zkrátit doby skladování (SOUČEK 2006).

### 3. METODIKA

#### 3.1. Podklady pro analýzu vnitřní struktury zemědělské soustavy (ZS)

Práci jsem vypracoval pod odborným vedením Ing. Marie Šindelářové CSc.

Potřebná vstupní data pro analýzu a návrhy vnitřní struktury byla získána z ročních výkazů a sklizní zemědělských plodin za období let 1998 – 2007 v Zemědělském družstvu Skalka Jankov a byla zpracována podle metodických postupů doporučených akademikem Kudrnou.

Cílem bylo provést a vyhodnotit analýzu vnitřní struktury ZS ZD Skalka Jankov se zaměřením na produkci bioenergie.

Data jsou zpracována pomocí výpočetní techniky programem „Soustavy“, na katedře Agroekologie, sekci agrochemie a pedologie, jehož autorem je Ing. S. Vitha. Tento program počítá parametry vnitřní struktury ZS, sestavuje grafy vybraných parametrů a pomocí regresních přímek a regresních koeficientů umožňuje vyhodnocení parametrů ve sledovaném období.

Mezi vstupní data patří: 1. plochy sklizně (ha) a výnosy plodin ( $t \cdot ha^{-1}$ )

2. stavy skotu (DJ)

3. spotřeba minerálních hnojiv (t)

##### 3.1.1. Plochy sklizně a výnosy plodin

Pěstované plodiny v ZD Skalka - Jankov za časovou řadu 1998 – 2007

- |                                     |                         |
|-------------------------------------|-------------------------|
| - kukuřice na zelené krmení a siláž | - brambory              |
| - ostatní jednoleté píce            | - řepka                 |
| - víceleté píce                     | - hořčice               |
| - obiloviny                         | - jílky na semeno       |
| - hrách                             | - trvalé travní porosty |

Zemědělství se řídí biologickými zákonitostmi, proto je použito klasifikace stupně závislosti podle koeficientu korelace ( $r$ ), jak uvádí ČERMÁKOVÁ, STŘELEČEK (1995).

Tab. 8. Stupně statistické závislosti (ČERMÁKOVÁ, STŘELEČEK, 1995)

Hodnota koeficientu korelace	Stupeň statistické závislosti
$0,3 > / r_{xy} /$	nízký
$0,3 \leq / r_{xy} / < 0,5$	mírný
$0,5 \leq / r_{xy} / < 0,7$	střední
$0,7 \leq / r_{xy} / < 0,9$	vysoký
$0,9 \leq / r_{xy} / < 1,0$	velmi vysoký
$/ r_{xy} / = 1,0$	matematická závislost

### 3.1.2. Stavy skotu

Čísla se uvádějí jedním číslem v  $DJ \cdot rok^{-1}$  s přesností na 1 DJ. Výpočet je proveden z průměrného stavu jednotlivých kategorií skotu v daném roce, vynásobených příslušným koeficientem přepočtu na DJ.

#### Výpočet průměrného stavu v jednotlivých kategoriích:

$$\frac{(\text{stav k 1.1.}) + 2 \cdot (\text{stav k 1.7.}) + (\text{stav k 31.12.})}{4}$$

Tab. 9. Koeficienty pro přepočet jednotlivých kategorií skotu na DJ

Kategorie	Koeficient
Krávy	1,00
Telata	0,22
Skot chovný do 1 roku	0,47
Skot chovný od 1 roku do 2 let	0,79
Skot ve výkrmu	0,65
Vysokobřezí jalovice (od 6. měsíce březosti)	1,00

### 3.1.3. Spotřeba minerálních hnojiv

Množství minerálních hnojiv ( $N + P_2O_5 + K_2O$ ) se uvádí jediným číslem za každý rok v tunách, tj. NPK (t) celkem.



## 3.2. Dekompozice struktury ZS metodou uhlíkové bilance

Pro posouzení a vyhodnocení nepříznivých jevů, které vznikají v ZS, byla provedena analýza metodou C–bilance.

Aby bylo možné provést dekompozici vnitřní struktury ZS, je nutné nejprve přepočítat sklizenou hmotu na výnos suché hmoty plodin.

Na tomto principu byla odvozena metoda uhlíkové bilance v zemědělské soustavě, jež umožňuje vyhodnotit stupeň rovnováhy ZS, vypočítat její optimální strukturu při změně zastoupení spotřebitelů uhlíku a determinovat i stav jejího maximálního zatížení. Princip metody spočívá v poznání, že objem aktivního uhlíku vypočítaný pomocí koeficientů je roven objemu suché hmoty bulev cukrovky nebo hlíz brambor a objemu suché hmoty víceletých píceňin na orné půdě (KUDRNA, 1985).

V případě této zemědělské soustavy jako hlavní spotřebitele uhlíku nepovažujeme cukrovku ani brambory, neboť cukrovka v této ZS není vůbec pěstována a plochy brambor jsou minimální. Na jejich pozici řadíme především řepku a hořčici.

### Řešení pomocí uhlíkové bilance probíhá v několika krocích:

1. Dekompozice ZS Skalka Jankov
2. Výpočet normální struktury
3. Výpočet jednotlivých návrhů specializovaných na energeticky využitelné plodiny

#### 3.2.1. Dekompozice uhlíkovou metodou

Zdroje uhlíku tvoří objemy sklizně všech plodin, uvažované v suché hmotě, které jsou považovány za zdroje uhlíku v soustavě. Tyto hodnoty jsou násobeny příslušným koeficientem, čímž získáme množství aktivního uhlíku.

#### Přepočítávací koeficienty:

- 0,065 – koeficient aktivního uhlíku zrna obilovin
- 0,360 – koeficient aktivního uhlíku ze sušiny rhizomů víceletých píceňin
- 0,386 – koeficient přepočtu sušiny na aktivní uhlík
- 0,450 – koeficient pro výpočet suché hmoty rhizomů, ze suché hmoty víceletých píceňin
- 0,785 – koeficient objemu uhlíku po konverzi zvířaty
- 1,270 – koeficient pro převod zrna obilovin na slámu

Tab. 10. Způsob vypočtení dekompozice ZS

Plodina	Výpočet dekompozice	$\sum C_k$
Jednoleté píceiny + kukuřice	$\sum Y_{s_0} \cdot 0,386 \cdot 0,785$	$\sum C_0$
Víceleté píceiny	$\sum Y_{s_1} \cdot 0,386 \cdot 0,785$	$\sum C_1$
Rhizomy	$\sum Y_{s_1} \cdot 0,45 \cdot 0,360$	$\sum C_{1ri}$
Trávy na semeno	$\sum Y_{s_{1tr- sem}} \cdot 0,065$	$\sum C_{1tr- sem}$
Trávy na semeno - sláma	$\sum Y_{s_{1tr- sem- sl}} \cdot 0,386$	$\sum C_{1tr- sem- sl}$
Obiloviny - zrno	$\sum Y_{2z} \cdot 0,065$	$\sum C_{2z}$
Obiloviny - sláma	$\sum Y_{2sl} \cdot 0,386$	$\sum C_{2sl}$
Hrách - zrno	$\sum Y_{6z} \cdot 0,065$	$\sum C_{6z}$
Hrách - sláma	$\sum Y_{6sl} \cdot 0,386$	$\sum C_{6sl}$
Trvalé travní porosty	$\sum Y_{s_4} \cdot 0,386 \cdot 0,785$	$\sum C_4$

### 3.3. Výpočet parametrů ZS

1.  $ETA\ 2 = \sum Y_{2z} / \sum Y_{s_{(0+1+ri+4)}}$  - poměr zrna k uhlíkatým zdrojům
2.  $ETA\ 0 = \sum Y_{s_0} / \sum Y_{s_{(1+4)}}$  - poměr produkce suché hmoty jednoletých pícnin

k víceletým pícninám a loukám

3.  $OMEGA\ 2 = \sum C_k / \sum Y_{2z}$  - aktivní uhlík zdrojů k zrnu obilovin
4.  $EP = \sum Y_s / \sum H$  - bioenergetický potenciál půdy
5.  $\sum Y_s / Pz$  - suchá hmota na zemědělskou půdu
6.  $\sum H / Pz$  - hnojiva na zemědělskou půdu ( kg / ha )
7.  $\sum Z / \sum Y_{s_{(0+1+4)}}$  - stav skotu na množství objemných krmiv
8.  $\sum Y_s / \sum Z$  - suchá hmota všech plodin na 1DJ
9.  $\sum Y_{s_{(0+1+4)}} / \sum Z$  - krmné množství ( t · DJ<sup>-1</sup> · rok<sup>-1</sup> )
10.  $\sum Y_s / \sum Y_{s_{(0+1+4)}}$  - suchá hmota na jednotku zdrojů uhlíku

### 3.4. Výpočet normální struktury

Při stanovení normální struktury se vychází z tabulky uhlíkové bilance, která vychází z množství aktivních uhlíkatých povrchů v půdě. Základem pro výpočet jsou průměrné výnosy dosažené za získanou časovou řadu 1998 - 2007.

Výpočet normální struktury metodou uhlíkové bilance zpravidla vychází ze sklizně zrna obilovin, ke které dopočteme podle schématu uhlíkové bilance teoretickou potřebu zdrojů a teoretické množství spotřebitelů uhlíku. Jako vstupní údaje pro výpočet se udávají průměrné výnosy plodin ( $\sum Y_s$ ) a plochy orné ( $P_{or}$ ) a zemědělské půdy ( $P_z$ ) za časovou řadu 1998 - 2007.

**Základem postupu je následující vztah:**

$$\begin{array}{ccc} \sum Y_{s(0+1+4)} & \longrightarrow & \sum Y_{2z} & \longrightarrow & \sum Y_{s3} \\ C_2^P = 1,4388 & & \sum C_{2sl} = \sum Y_{s3} & & \end{array}$$

Potřeba zdrojů uhlíku ( $\sum Y_{s(0+1+4)}$ ) je vypočtena pomocí Planckovy konstanty ( $C_2^P$ ) a průměrné sklizně obilovin ( $\sum Y_{2z}$ ).

$$\sum Y_{s(0+1+4)} = \sum Y_{2z} \cdot C_2^P \text{ [t]}$$

Planckova konstanta (1,4388) – přepočítávací koeficient suché hmoty jednoletých píceň, víceletých píceň a drnového fondu na objem zrna obilovin.

**Zastoupení jednoletých píceň  $\sum Y_{s0}$ :**

Jedná se především o kukuřici na siláž. Podíl jednoletých píceň by měl činit z celkového objemu 0,215, dle poměru  $\sum Y_{s0} = (\sum Y_{s(0+1+4)}) \cdot 0,215$

Vypočtené množství se vydělí průměrným výnosem a dostaneme počet hektarů a následně i procentické zastoupení v osevním postupu. Vypočtené množství kukuřice se zároveň i odečte od celkové potřeby zdrojů. Současně se odečte i průměrný objem sklizně luk  $\sum Y_{s4}$  (sklizeň hmoty z drnového porostu).

Podíl víceletých píceň  $\sum Y_{s1}$  se pak získá jako zbytek po výše uvedených odpočtech (tj.  $\sum Y_{s(0+1+4)} - \sum Y_{s0} - \sum Y_{s4} = \sum Y_{s1}$ ). Tento objem se opět vydělí průměrným výnosem a dostaneme počet hektarů a následně i procentické zastoupení víceletých píceň. Jako plochu obilovin bereme v úvahu průměrnou plochu za sledované období. Jako v předchozích případech získáme procentické zastoupení v osevním postupu vydělením hektarů osetých obilovinami k celkovému množství hektarů orné půdy.

Sklizeň suché hmoty spotřebitelů uhlíku, kam patří hlavně okopaniny a olejniny, by neměla převyšovat množství uhlíku dodané slámou obilovin. Tak by měl platit vztah, že  $\sum Y_{s(3+5)} \leq \sum C_{2sl}$ . Množství uhlíku slámy se vypočítá ze sumy sklizně zrna obilovin

vynásobené koeficientem 1,27 a koeficientem pro přepočítání na aktivní uhlík 0,386. Tato hodnota, která vyjde, se dále dělí průměrným výnosem spotřebitelů, tím získáme počet hektarů a následně i procentické zastoupení v osevním postupu.

Poslední fází je součet ploch jednoletých, víceletých píceň, obilovin a spotřebitelů uhlíku dohromady. Je-li součet větší než 100 %, označuje nám to příznivé přírodní podmínky, zejména proto, že teoretická potřeba zdrojů je vyšší než skutečná.

#### **Použité koeficienty:**

- 1,27 – koeficient pro převod zrna obilovin na slámu
- 0,386 – koeficient pro přepočítání suché hmoty všech plodin na aktivní uhlík
- 1,4388 – Planckova konstanta – přepočítávací koeficient suché hmoty jednoletých píceň, víceletých píceň a drnového fondu na objem zrna obilovin
- 0,215 – koeficient konverze - množství suché hmoty krmného množství, které odchází prostřednictvím zvířat ze soustavy.

### **3.5. Výpočet optimální struktury**

#### **Výpočet optimální struktury ZS vychází ze tří alternativ:**

- 1) plánovaná potřeba obilovin
- 2) plánovaná potřeba zvířat
- 3) plánovaná potřeba olejnin

### **3.6. Výpočet struktur se zvýšeným zastoupením energetických plodin**

Normální zemědělská soustava za časovou řadu 1998 – 2007

Vycházíme z metodiky výpočtu normální zemědělské struktury. V této soustavě je počítáno se zastoupením jednoletých a víceletých píceň 36,67 %, obilovin 62,03 %, okopanin a olejnin 16,53 %. Součet ploch je vyšší než 100 %, což znamená, že teoretická potřeba zdrojů je podle uhlíkové bilance vyšší než skutečná.

Při zpracování jednotlivých struktur bylo postupováno dle obdobných postupů a algoritmů, jako při sestavování normální struktury.

### 1) Návrh struktury ZS – ZD Skalka - Jankov varianta 1- základní - zaměřené na obiloviny

Návrh varianty 1 základní se zastoupením obilovin  $P_2 = 60\%$  Por potřebných při následné výrobě bioetanolu.

### 2) Návrh struktury ZS – ZD Skalka - Jankov varianta 1b - zaměřená na řepku

V této variantě bylo cílem navýšit plochy řepky pro produkci bionafty na 12,50 % Por. Následkem toho bylo nutno snížit plochy obilovin, o plochu, o kterou se navýšila pěstební plocha řepky.

### 3) Návrh struktury ZS – ZD Skalka - Jankov varianta 2 – zaměřená na produkci bioplynu

V této variantě je zpracován záměr navýšit jednak stavy skotu, a dále pak plochy jednoletých a víceletých pícnin.

## 3.7. Přehled energetických přepočtů

#### Bioplyn:

Roční produkce kWh = DJ · 1,69 kWh · den<sup>-1</sup> · 365 dní

1DJ = 0,943 m<sup>3</sup> bioplynu denně

1DJ = 1,69 kWh energie denně

#### Řepkový olej:

Produkce kWh = kg · 2,52 kWh · kg<sup>-1</sup>

1 kg oleje = 1,5 m<sup>3</sup> bioplynu

1 t řepkového semene = 320 l oleje

1 kg oleje = 2,52 kWh energie

#### Etanol:

Produkce kWh = 1 · 2,99 kWh · 1<sup>-1</sup>

1 t zrna obilí = 342 l etanolu

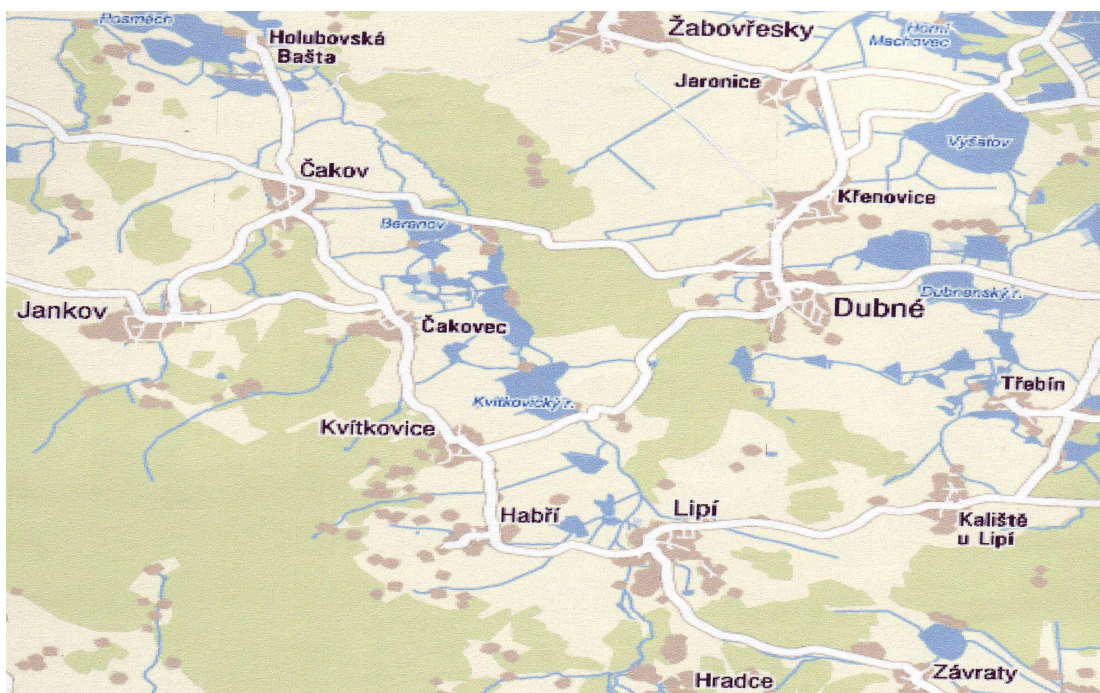
1 kg etanolu = 3,38 kWh,

1kg etanolu = 1,13 l

## 4. VLASTNÍ PRÁCE

### 4.1. Poloha zemědělského družstva Skalka – Jankov

Zemědělské družstvo Skalka – Jankov (se sídlem v Jankově) se nachází v jižních Čechách v okrese České Budějovice asi 10 kilometrů západně od města Českých Budějovic a skládá se z hospodářských obvodů ZD: Habří, Lipí, Jankov, Holašovice, Holubovská Bašta, Kaliště u Lipí, Čakov a Čakovec. Družstvo Skalka vzniklo sloučením JZD Jankov a Lipí v roce 1974 a hospodaří momentálně na 941 ha orné půdy a 311 ha luk.



### 4.2. Výrobní zaměření

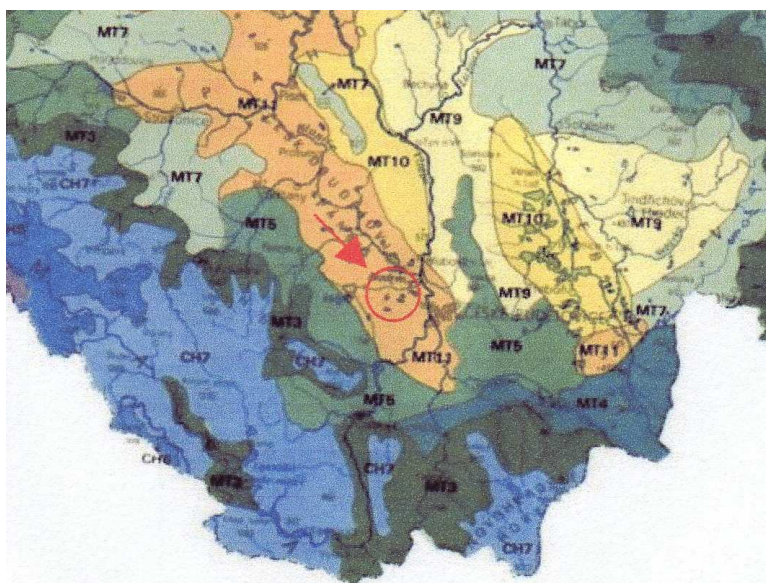
V rostlinné produkci je struktura plodin následující: obiloviny zaujímají 62,0 % orné půdy a jsou hlavní tržní plodinou, jednoleté píce zaujímají 18,6 % orné půdy, víceleté píce zaujímají 6,3 %, řepka se pěstuje na 8,3 % orné půdy. Zbytek orné půdy tvoří plochy brambor, hrachu, hořčice a jílku vytrvalého na semeno.

Zemědělská společnost je zaměřena na chov skotu s tržní produkcí mléka. Krmná dávka je tvořena především jednoletými a víceletými pícinami. Stavy skotu se ve sledovaném období pohybují v rozmezí od 514 – 916 DJ.

### 4.3. Charakteristika přírodních podmínek ZD Skalka – Jankov

#### 4.3.1. Klimatologické podmínky

Území, na němž ZD Skalka – Jankov hospodaří, spadá do klimatického okrsku MT 11, ten je podle QUITTA (1971) charakterizován dlouhým, suchým, teplým létem. Krátkým přechodným obdobím s mírně teplým jarem a mírně teplým podzimem. Zima je krátká, mírně teplá a velmi suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky.



Průměrná nadmořská výška pozemků, na kterých ZD Skalka – Jankov hospodaří, je 450 – 470 m n. m. Pro tuto oblast spadající do Českobudějovické pánve a částečně do moldanubika je uváděn roční průměrný srážkový úhrn 573 mm. Roční teplota dosahuje v celoročním průměru 7,9 °C.

Tab. 11. Teploty ve vegetačním období

	≥0 °C	≥5 °C	≥10 °C	≥15 °C
počátek	19.2.	28.3.	29.4.	7.6.
konec	8.12.	8.11.	3.10.	31.8.
dny	293	220	158	86

Tab. 12. Mrazové dny

mrazové dny	počátek	konec	$T_{\min} \leq -0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$
průměr	6.10.	9.5.	$T_{\min} \leq -0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$
časné	11.9.	14.4.	$T_{\min} \leq -0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$
pozdní	11.11.	5.6.	$T_{\min} \leq -0,1 \text{ } ^\circ\text{C}$

#### 4.3.2. Geologickopetrografické substráty

##### Geologické útvary:

Hospodářský obvod leží v oblasti:

- Jihočeská pánev
  - Moldanubikum
- Jihočeská pánev
    - ❖ třetihorní sedimenty (písky, jíly)
    - ❖ sprašové hlíny
  - Moldanubikum
    - ❖ Granulit, biotitický granulit a granulitová rula
    - ❖ Leukokratní migmatit
    - ❖ Biotitická až granát–sillimanit–biotitická paralula

Geologickopetrografický podklad zde vytvořil podmínky pro vznik pseudoglejového typu půd. Pseudogleje jsou typickými půdami Jihočeské pánve.

##### Půdní poměry:

Na území ZD se vyskytují následující půdy:

- hnědá půda kyselá (Ha)
- hnědá půda kyselá oglejená (Hag)
- hnědá půda silně kyselá (Ho)

##### Typy půd:

- lehké 50 % - písčité 40 %
  - hlinitopísčité 60 %
- střední 40 % - písčitohlinité 70 %
  - hlinité 30 %
- těžké 10 % - jílovitohlinité 100 %



## **Vodohospodářské hydrologické poměry:**

Podnik leží v povodí Vltava.

- povodí - Vltava
- vodní tok – Dehtářský potok
- rybníky - Kvítkovický
  - Dlouhý
  - Beranov
  - Dehtář

Celá oblast spadá pod obilnářskou výrobní oblast (O3). Zahrnuje území s výraznou klimatickou heterogenitou v nadmořské výšce 400 - 550 m. Terénní podmínky jsou s vyšší členitostí a svažitostí (do 12° sklonitostí). Stupeň zornění je kolem 70 %. Převážně jsou zastoupeny půdy s vyšší skeletovitostí a půdy mělké na svahovinách a na krystaliniku. Pěstitelské podmínky jsou průměrné až podprůměrné pro pěstování obilnin, krmných plodin, řepky olejné. Ve vyšších polohách vhodné pro len. Jsou v ní zastoupena katastrální území s průměrnou úřední cenou zemědělských pozemků v rozmezí 3,- až 4,- Kč/m<sup>2</sup>. Produkční schopnost půd je podprůměrná v rozmezí 42 až 48 bodů. Převážně je zastoupena v okresech Beroun, Č. Budějovice, Jindřichův Hradec, Cheb, K. Vary, Plzeň-sever, Tachov, Trutnov, Frýdek-Místek a Jeseník. Na celkové výměře zemědělské půdy ČR se podílí 13,8 % (<http://vyzva.partnerstvi-jmk.cz/download.php?file=61.doc&>).

#### 4.4. Vnitřní zemědělská struktura ZD Skalka – Jankov, 1998 – 2007

Tab. 13. Struktura zemědělské soustavy ZD Skalka – Jankov, 1998 – 2007

Plodina	Index	P [ha]	P [%P <sub>or</sub> ]	Y <sub>s</sub> [t·ha <sup>-1</sup> ]	ΣY <sub>s</sub> [t]
Kukuřice na siláž	P <sub>0</sub>	187,6	18,22	5,3	991
Ostatní jednoleté píc.	P <sub>0</sub>	3,4	0,33	1,4	5
Víceleté pícniny	P <sub>1</sub>	64,7	6,28	5,5	354
Obiloviny	P <sub>2</sub>	638,9	62,05	3,35*	2140*
Hrách	P <sub>6</sub>	19,7	1,91	2,29*	45*
Brambory	P <sub>3</sub>	1,0	0,10	5,4	5
Řepka	P <sub>5</sub>	85,2	8,28	2,37*(7,1)	202*(606)
Hořčice	P <sub>5</sub>	20,5	1,99	0,74*(2,2)	15*(46)
Jílek na semeno	P <sub>1</sub>	8,6	0,84	0,76*(4,2)	7*(36)
<b>Půda orná</b>	<b>P<sub>or</sub></b>	<b>1029,6</b>	<b>100,00</b>		
TTP	P <sub>4</sub>	323,7	23,92%P <sub>z</sub>	3,2	1038
<b>Půda zemědělská</b>	<b>P<sub>z</sub></b>	<b>1353,3</b>			

\*zrno obilovin, hrachu, semeno jílku, řepky, hořčice

Výpočet parametru ETA 0:

$$ETA\ 0 = \frac{\sum Y_{s0}}{\sum Y_{s(1+4)}} = \frac{991}{1399} = 0,708$$

Tab. 14. Dekompozice struktury zemědělské soustavy ZD Skalka – Jankov, 1998 – 2007

<b>Plodina</b>	<b>Index</b>	<b>Ys</b> [t]	<b>Přepočítávací</b> <b>koeficienty</b>	$\sum C_k$ [t]
Kukuřice na siláž	$\sum Y_{s_0}$	991	$0,386 \cdot 0,785$	300
Ostatní jednoleté píceiny	$\sum Y_{s_0}$	5	$0,386 \cdot 0,785$	2
Víceleté píceiny	$\sum Y_{s_1}$	354	$0,386 \cdot 0,785$	107
Rhizomy	$\sum Y_{s_1}$	$354 \cdot 0,45$	0,360	57
Trávy na semeno - semeno	$\sum Y_{s_1}$	7	0,065	0,5
Trávy na semeno – sláma	$\sum Y_{s_1}$	29	0,386	11
Obiloviny – zrno	$\sum Y_{s_{2z}}$	2140	0,065	(139)
Obiloviny – sláma	$\sum Y_{s_{2sl}}$	$2140 \cdot 1,27$	0,386	1049
Hrách – zrno	$\sum Y_{s_{6z}}$	45	0,065	3
Hrách – sláma	$\sum Y_{s_{6sl}}$	$45 \cdot 1,6$	0,386	28
Trvalé travní porosty	$\sum Y_{s_4}$	1038	$0,386 \cdot 0,785$	315
<b>Celkem</b>				<b>1873</b>

Výpočet aktivního uhlíku na zrno obilovin

$$\text{OMEGA } 2 = \sum C_k / \sum Y_{2z} =$$

$$1873 / 2140 = 0,875$$

$$\text{OMEGA } 2 = 0,875$$

Hodnota parametru OMEGA 2 je výrazně nižší než 1, což značí, že výnos zrna obilovin není plně kryt aktivním uhlíkem zdrojů. Podle KUDRNY (1985) by měla být hodnota OMEGA 2 rovna jedné.

$$\text{OMEGA } 2+6 = \sum C_k / \sum Y_{(2+6)z} =$$

$$1870 / 2185 = 0,856$$

$$\text{OMEGA } 2+6 = 0,856$$

Zastoupení luskovin ve struktuře ZS je nízké a hodnotu OMEGA 2 ovlivnilo nevýznamně.

Tab. 15. C – bilance struktury ZS – ZD Skalka – Jankov 1998 – 2007

Plodina	Index	P [ha]	Ys [t · ha <sup>-1</sup> ]	$\sum Ys + \sum Ys_{ri,sl}$	$\sum Cs + \sum C_{ri,sl}$	+/-C	C-bilance	C/ha
Víceleté píce	P <sub>1</sub>	64,7	5,5	356+160	108+58	58	58	
Kukuřice	P <sub>0</sub>	187,6	5,3	994	301	-301	-243+1812	
Ost. jedn. píc.	P <sub>0</sub>	3,4	1,4	5	1	-1	1568	
Obiloviny	P <sub>2</sub>	638,9	3,35	2140+2718	139+1049	-1188	380	
Hrách	P <sub>6</sub>	19,7	2,29	45+72	3+28	-31	349	
Brambory	P <sub>3</sub>	1,0	5,4	5	2	-2	347	
Řepka	P <sub>5</sub>	85,2	2,37	202+404	13+156	-169	178	
Hořčice	P <sub>5</sub>	20,5	0,74	15+30	1+12	-13	165	
Jílek na sem.	P <sub>1</sub>	8,6	0,76	7+29	0,4+11	-11	154	0,150

Sklizeň z TTP

$$\sum Y_{s4} = 323,7 \cdot 3,2 = 1036$$

$$\sum C_4 = 1036 \cdot 0,386 \cdot 0,785 = 314$$

$$\sum C_{org} = 1812$$

#### 4.4.1. Normální struktura ZS – ZD Skalka – Jankov 1998 – 2007

$$P_{or} = 1030 \text{ ha} \quad \sum Y_{s2z} = 2140 \text{ t}$$

$$P_z = 1353 \text{ ha} \quad \sum Y_{s4} = 1038 \text{ t}$$

$$P_4 = 323 \text{ ha}$$

Výpočet potřeby zdrojů uhlíku:

$$\sum Y_{s(0+1+4)} = \sum Y_{2z} \cdot C_2^P$$

$$\sum Y_{s(0+1+4)} = 2140 \cdot 1,4388 = 3079 \text{ t}$$

Podíl jednoletých (silážních) plodin  $\sum Y_{s0}$ :

$$\sum Y_{s0} = 0,215 \cdot 3079 = 662 \text{ t}$$

$$P_0 = 662/5,21 = 127,0 \text{ ha} \sim 12,33\% P_{or}$$

Podíl víceletých pícnin  $\sum Y_{S_1}$ :

$$\sum Y_{S_4} = 1038$$

$$\sum Y_{S_1} = \sum Y_{S_{(0+1+4)}} - \sum Y_{S_0} - \sum Y_{S_4}$$

$$\sum Y_{S_1} = 3079 - 662 - 1038 = 1379 \text{ t}$$

$$P_1 = 1379/5,5 = 250,7 \text{ ha} \sim 24,34 \% P_{or}$$

Obiloviny  $\sum Y_{2z}$ :

$$\sum Y_{2z} = 638,9 \text{ ha} \cdot 3,35 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} = 2140 \text{ t}$$

$$P_2 = 2140 / 3,35$$

$$P_2 = 639 \text{ ha} \sim 62,03 \% P_{or}$$

Skližeň suché hmoty spotřebitelů uhlíku  $\sum Y_{S_{(3+5)}}$ :

$$\sum Y_{S_{(3+5)}} = \sum C_{2sl} = 2140 \cdot 1,27 \cdot 0,386 = 1049$$

$$P_{(3+5)} = 1049 / 6,16 = 170,2 \text{ ha} \sim 16,53 \% P_{or}$$

Součet vypočtených ploch všech plodin na orné půdě  $P_{0+1+2+(3+5)}$ :

$$P_{0+1+2+(3+5)} = 12,33+24,34+62,03+16,53 = 115,23 \%$$

Součet ploch na orné půdě vychází vyšší než 100 %. To znamená, že teoretická potřeba zdrojů uhlíku je vyšší než skutečná.

Tab. 16. Normální struktura ZS – ZD Skalka – Jankov 1998 – 2007

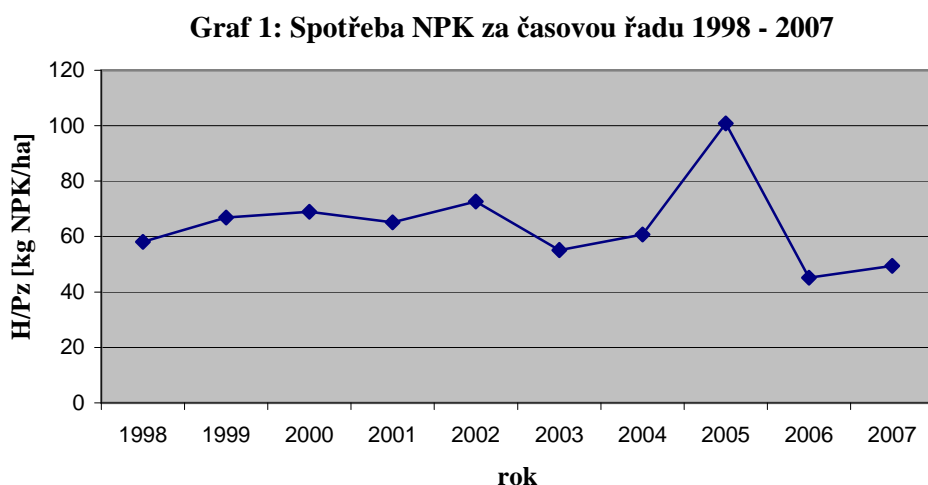
Plodina	Index	P [ha]	P [% P <sub>or</sub> ]	Y <sub>s</sub> [t · ha <sup>-1</sup> ]	∑Y <sub>s</sub> [t]
Jednoleté pícniny	P <sub>0</sub>	127,0	12,33	5,21	662
Víceleté pícniny	P <sub>1</sub>	250,7	24,34	5,5	1379
Obiloviny	P <sub>2</sub>	638,9	62,03	3,35	3140
Okopaniny a olejniny	P <sub>(3+5)</sub>	170,2	16,53	6,16	1049
<b>Orná půda</b>	<b>P<sub>or</sub></b>	<b>1186,8</b>	<b>115,23</b>		

V ZS je velmi nízké zastoupení P<sub>1</sub> při velmi nízkém výnosu, rovněž výnosy Y<sub>S0</sub> jsou velmi nízké.

Součet ploch vychází více než 100 %, což znamená, že teoretická potřeba zdrojů je podle uhlíkové bilance vyšší, než je skutečná.

## 4.5. Grafy vnitřní struktury ZS – ZD Skalka – Jankov a jejich vyhodnocení

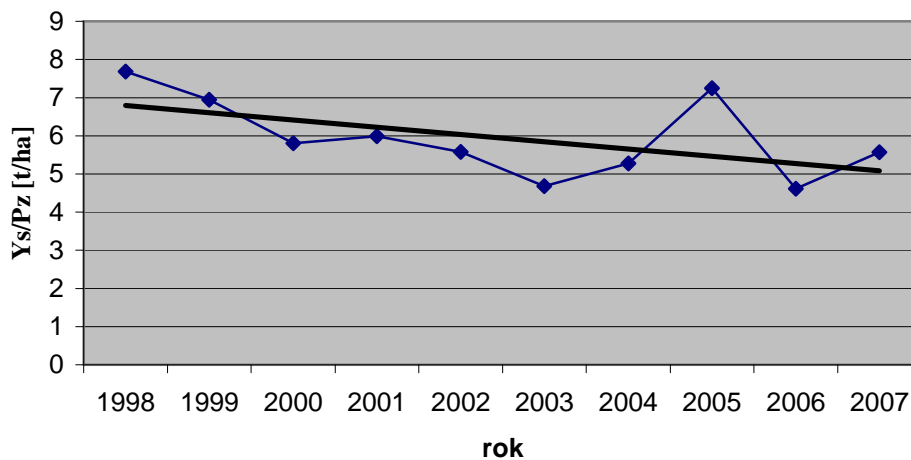
Graf 1: Tento graf vyjadřuje spotřebu minerálních hnojiv (NPK). Parametr H / Pz má celkově vyrovnanou tendenci, až na rok 2005, kdy křivka zaznamenává vyšší nárůst spotřeby až přes 100 kg/ha NPK. Poté má křivka spíše klesající charakter.



Rok	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Výměra zem. půdy [ha]	1082,0	1080,0	1072,0	1071,0	1010,0	1004,0	1033,0	1017,0	986,0	941,0
NPK [t]	80,0	93,0	95,0	90,0	100,0	75,0	83,0	135,0	59,0	62,0
[kg/ha]	58,0	66,8	68,9	65,1	72,6	55,2	60,7	100,8	45,2	49,5

Graf 2: Vyjadřuje výnos suché hmoty všech plodin za časovou řadu 1998 – 2007. Parametr  $Y_s/Pz$  [t/ha] má klesající charakter, až na rok 2005, kdy křivka má stoupající tendenci. Jistě se na vyšším výnosu suché hmoty v roce 2005 podílí vzrůstající spotřeba minerálních hnojiv, která v tomto roce dosáhla nejvyšších hodnot.

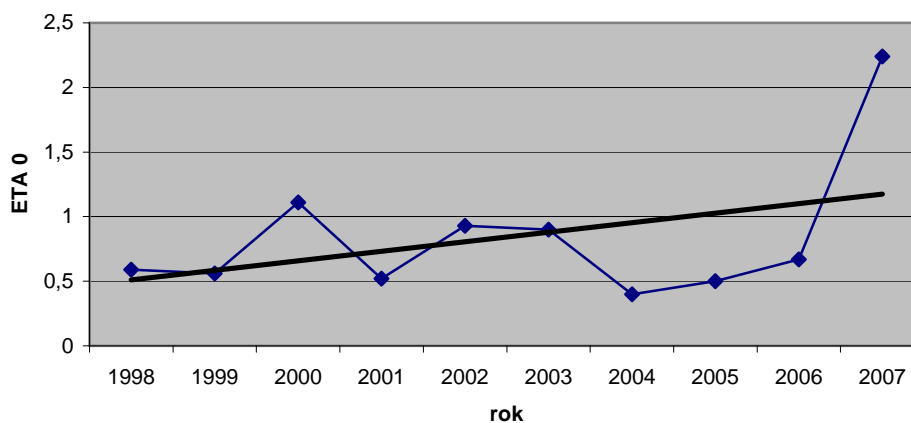
**Graf 2: Výnos suché hmoty všech plodin za časovou řadu  
1998 - 2007**



Rok	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Ys/Pz [t/ha]	7,69	6,95	5,81	5,99	5,58	4,68	5,28	7,25	4,61	5,57

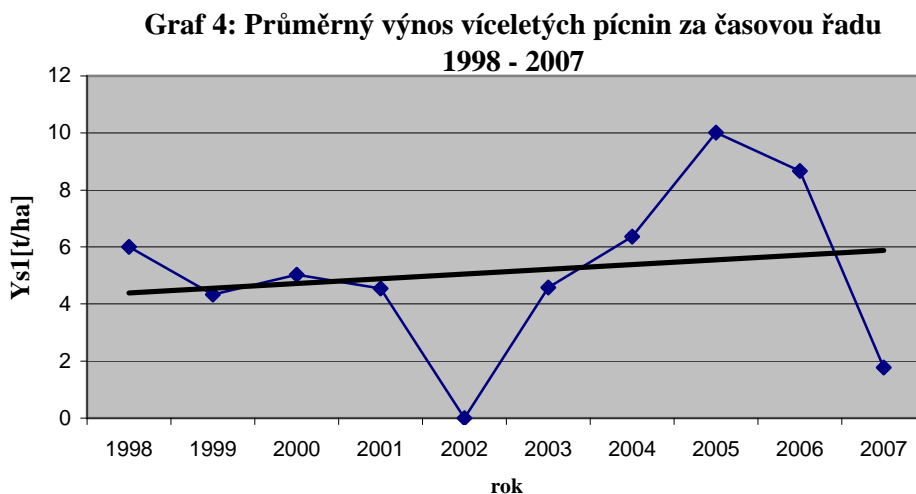
Graf 3: Parametr ETA 0 (parametr silážních plodin) má vyrovnanou tendenci, až na poslední rok, kdy se hodnota křivky vyšplhala až na hodnotu 2,24. Jinak se hodnoty křivky pohybují v rozmezí od 0,40 – 0,93.

**Graf 3: Parametr silážních plodin za časovou řadu  
1998 - 2007**



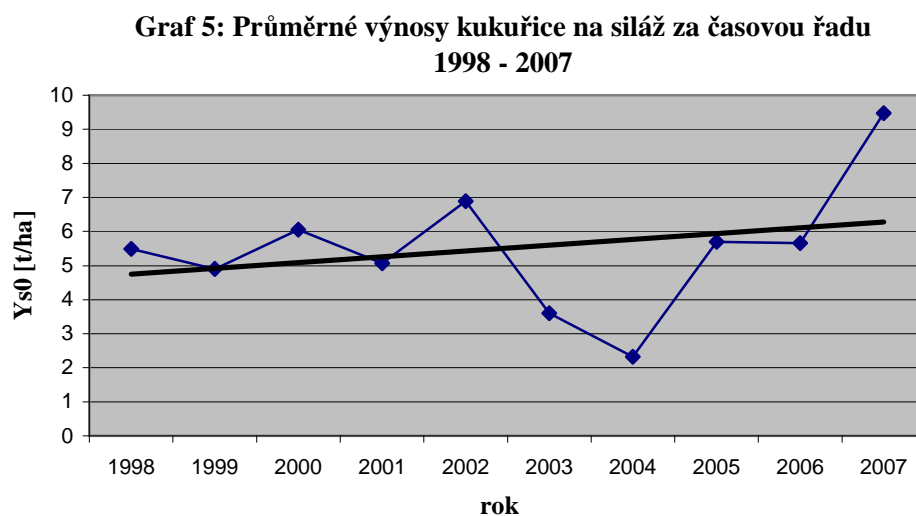
Rok	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
ETA 0	0,59	0,56	1,11	0,52	0,93	0,90	0,40	0,50	0,67	2,24

Graf 4: Průměrný výnos víceletých píceň. Výnosy víceletých píceň jsou velice nevyrovnané. V roce 2002 neměli žádný výnos, neboť díky nevlídnému počasí museli porost zaorat. V roce 2006 dosáhl výnos největší hodnoty a to je 10,02 t·ha<sup>-1</sup>.



Rok	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Ys1 [t·ha <sup>-1</sup> ]	6,00	4,33	5,03	4,54	0,00	4,58	6,36	10,02	8,66	1,77

Graf 5: Průměrné výnosy kukuřice na siláž. Křivka grafu výnosu kukuřice je celkem vyrovnaná, až na rok 2004, kdy hodnota dosahuje nejnižšího výnosu 2,32 t·ha<sup>-1</sup> a roku 2007, kdy je zaznamenán nejvyšší výnos a to 9,47 t·ha<sup>-1</sup>.

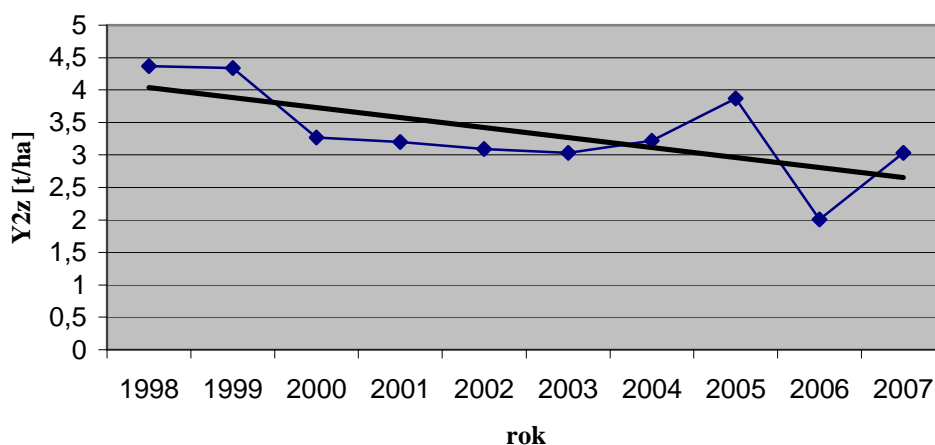




Rok	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
$Y_{s0}$ [ $t \cdot ha^{-1}$ ]	5,48	4,90	6,05	5,07	6,89	3,60	2,32	5,69	5,65	9,47

Graf 6: Průměrné výnosy obilovin. Je patrný pozvolný pokles výnosu obilovin. Nejvyšší hodnota výnosu je zaznamenána  $4,37 t \cdot ha^{-1}$  v roce 1998 a nejnižší hodnota výnosu je zaznamenána  $2,01 t \cdot ha^{-1}$  v roce 2006.

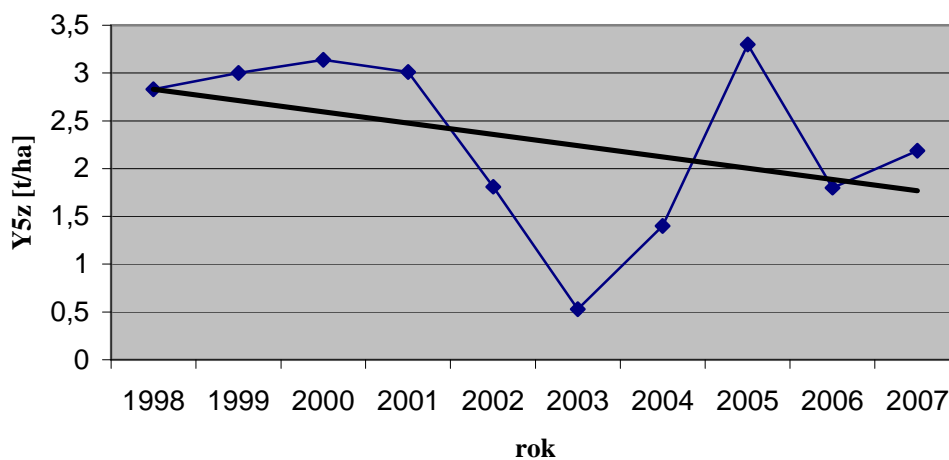
**Graf 6: Průměrné výnosy obilovin za časovou řadu 1998 - 2007**



Rok	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
$Y_{2z}$ [ $t \cdot ha^{-1}$ ]	4,37	4,34	3,27	3,20	3,09	3,03	3,22	3,87	2,01	3,03

Graf 7: Průměrné výnosy řepky. Hodnoty výnosu řepky jsou velice kolísavé. Nejvyšší hodnota výnosu byla dosažena  $3,30 t \cdot ha^{-1}$  v roce 2005 a nejnižší  $0,53 t \cdot ha^{-1}$  v roce 2003, jelikož v tomto roce hodně přšelo, takže značná část sklizně vypadala na zem.

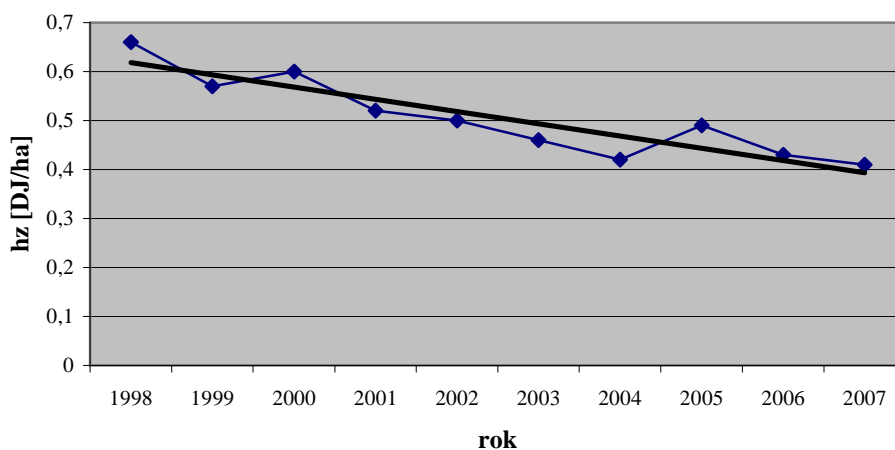
**Graf 7: Průměrné výnosy řepky za časovou řadu 1998 - 2007**



Rok	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
$Y_{5z}$ [t·ha <sup>-1</sup> ]	2,83	3,00	3,14	3,01	1,81	0,53	1,40	3,30	1,80	2,19

Graf 8: Graf ukazuje hustotu skotu na hektar. Graf vykazuje tendenci mírně klesající z hodnoty 0,66 DJ·ha<sup>-1</sup> v roce 1998 až na hodnotu 0,41 DJ·ha<sup>-1</sup> v roce 2007.

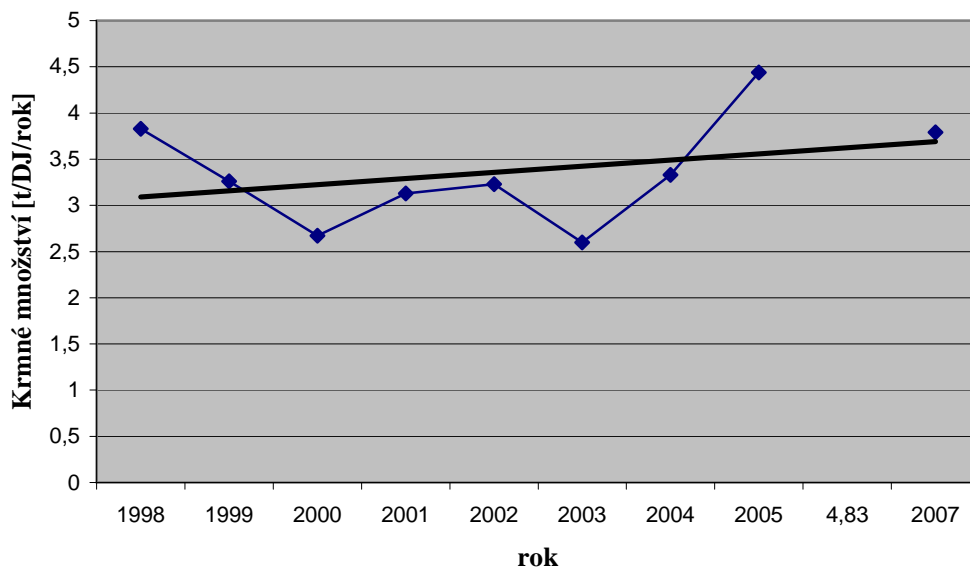
**Graf 8: Hustota skotu v dobytčích jednotkách na hektar zem. půdy za časovou řadu 1998 - 2007**



Rok	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
hz [DJ·ha <sup>-1</sup> ]	0,66	0,57	0,60	0,52	0,50	0,46	0,42	0,49	0,43	0,41

Graf 9: Krmné množství objemných krmiv pro skot. S klesajícím počtem dobytčích jednotek na hektar stoupá množství objemných krmiv na jednu dobytčí jednotku. Z počátku má křivka grafu klesající charakter, poté křivka poznenáhlu vzrůstá k vyšším hodnotám až na hodnotu 4,83 t objemných krmiv na  $DJ^{-1} \cdot rok^{-1}$ .

**Graf 9: Krmné množství objemných krmiv pro skot za časovou řadu 1998 - 2007**



Rok	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Krmné množství [t·DJ <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup> ]	3,83	3,26	2,67	3,13	3,23	2,60	3,33	4,44	4,83	3,79

#### 4.6. Návrh struktury ZS – ZD Skalka – Jankov varianta 1 - základní (zaměřená na obiloviny)

Por = 941 ha

Pz = 1252 ha

P<sub>4</sub> = 311 ha

$h_z = 0,65 \text{ DJ} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ Pz}$

$k_n = 4,0 \text{ t} \cdot \text{DJ}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$

##### Výpočet:

Potřeba zdrojů uhlíku:

$$\sum Y_{S(0+1+4)} = h_z \cdot Pz \cdot k_n = 0,65 \cdot 1252 \cdot 4,0 = 3255 \text{ t}$$

Podíl jednoletých (silážních) plodin:

$$\sum Y_{S_0} = \sum Y_{S_{(0+1+4)}} \cdot 0,215$$

$$\sum Y_{S_0} = 3255 \cdot 0,215 = 700 \text{ t}$$

$$P_0 = \sum Y_{S_0} / Y_{S_0}$$

$$P_0 = 700 / 6,37 \sim \text{č. } 7/10 \text{ (70 \%)}$$

$$P_0 = 109,9 \text{ ha} \sim 11,68 \% \text{ Por}$$

Podíl víceletých píceňin:

$$\sum Y_{S_4} = P_4 \cdot Y_{S_4}$$

$$\sum Y_{S_4} = 311 \cdot 3,76 \sim \text{č. } 7/10 = 1169 \text{ t}$$

$$\sum Y_{S_1} = \sum Y_{S_{(0+1+4)}} - \sum Y_{S_0} - \sum Y_{S_4}$$

$$\sum Y_{S_1} = 3255 - 700 - 1169 = 1386 \text{ t}$$

$$P_1 = \sum Y_{S_1} / Y_{S_1}$$

$$P_1 = 1386 / 6,50 \sim \text{č. } 7/9 \text{ (78 \%)}$$

$$P_1 = 213,2 \text{ ha} \sim 22,66 \% \text{ Por}$$

Pokud zvolíme  $P_2 = 60 \% \text{ Por} \sim 564,6 \text{ ha}$ , pak:

$$P_0 + P_1 + P_2$$

$$11,68 + 22,66 + 60,00 = 94,34 \% \text{ Por}$$

Na řepku zbývá  $5,66 \% P_{or} \sim 53,3 \text{ ha}$

Obiloviny:

Výpočet  $\sum Y_{2z}$  s využitím parametru  $C_2^P$

$$\sum Y_{2z} \cdot C_2^P = \sum Y_{(0+1+4)} / C_2^P$$

$$\sum Y_{2z} \cdot C_2^P = 3255 / 1,4388 = 2262 \text{ t}$$

$$Y_{2z} = 2262 / 564,6 = 4,01 \text{ t, zaokrouhlíme na } 4,0 \text{ t,}$$

což odpovídá četnosti  $4/10$  (40 %)

Řepka:

Při nízkém zastoupení ( $P_5 = 5,66 \%$ ) zvolíme výnos  $Y_{5z}$  podle rozdělení četností:

$$Y_{5z} \text{ č. } 6/10 \text{ (60 \%)} = 2,90 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$$

Tab 18. Návrh optimální struktury ZS – ZD Skalka – Jankov – var. 1 - základní

	P	P	Ys	∑Ys
	[ha]	[% Por]	[t / ha]	[t]
P <sub>0</sub> – kukuřice	109,9	11,68	6,37 č. 7/10	700
P <sub>1</sub> – víceleté pícniny	213,2	22,66	6,50 č. 7/9	1386
P <sub>2</sub> – obiloviny	564,6	60,00	4,00* č. 4/10	2262*
P <sub>5</sub> – řepka	53,3	5,66	2,90* č. 6/10(8,70)	155*(464)
<b>Por – orná půda</b>	<b>941,0</b>	<b>100,00</b>		
P <sub>4</sub> – TTP	311,0	24,84% Pz	3,76 č. 7/10	1169
<b>Pz – zemědělská půda</b>	<b>1252,0</b>			

\* zrno obilovin, semeno řepky

Tab. 19. Dekompozice optimální struktury ZS – ZD Skalka – Jankov – var. 1 - základní

Plodina	∑Ys [t]	∑Ck [t]
∑Y <sub>s0</sub> – kukuřice	700 · 0,386 · 0,785	212
∑Y <sub>s1</sub> – víceleté pícniny	1386 · 0,386 · 0,785	420
∑Y <sub>s1</sub> – rhizomy	1386 · 0,45 · 0,360	225
∑Y <sub>2z</sub> – obiloviny - zrno	2262 · 0,065	(147)
∑Y <sub>2sl</sub> – obiloviny – sláma	2262 · 1,27 · 0,386	1109
∑Y <sub>s4</sub> – TTP	1169 · 0,386 · 0,785	354
<b>Celkem</b>		<b>2320</b>

$$\text{OMEGA 2} = \sum Ck / \sum Y_{2z} = 2320 / 2262 = 1,026$$

Tab. 20. C – bilance struktury ZS – ZD Skalka – Jankov – var. 1 - základní

Plodina	P	Ys	∑Ys + ∑Y <sub>Sri, sl</sub>	∑Cs + ∑C <sub>ri, sl</sub>	±C	C-bilance	C / ha
	[ha]	[t · ha <sup>-1</sup> ]					
P <sub>1</sub> – víceleté pícniny	213,2	6,50	1386 + 624	420 + 225	225	225	
P <sub>0</sub> – kukuřice	109,9	6,37	700	212	-212	13 + 2095	
P <sub>2</sub> – obiloviny	564,6	4,00	2262 + 2873	147 + 1109	-1256	852	
P <sub>5</sub> - řepka	53,3	2,90	155 + 310	10 + 120	-130	722	0,767

Sklizeň z TTP

$$\sum Y_{S4} = 1169$$

$$\sum C_4 = 1169 \cdot 0,386 \cdot 0,785$$

$$\sum C_4 = 354 \text{ t}$$

Součet uhlíku z organických hnojiv:

$$\sum C_{\text{org}} = 420 + 212 + 1109 + 354$$

$$\sum C_{\text{org}} = 2095 \text{ t}$$

Varianta 1 – základní je se zastoupením obilovin  $P_2 = 60 \%$  Por zároveň variantou zaměřenou na obiloviny.

#### 4.7. Návrh struktury ZS - ZD Skalka – Jankov varianta 1 b - zaměřená na řepku

$$P_{\text{or}} = 941 \text{ ha}$$

$$P_z = 1252 \text{ ha}$$

$$P_4 = 311 \text{ ha}$$

$$h_z = 0,65 \text{ DJ} \cdot \text{ha}^{-1} P_z$$

$$k_n = 4,0 \text{ t} \cdot \text{DJ}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$$

Volíme:

$$P_5 = 12,5 \% \text{ Por} \sim 117,6 \text{ ha}$$

Zvýšení  $P_5$  proti variantě 1 - základní

$$12,5 \% - 5,66 \% = 6,84 \% \text{ Por}$$

$$P_2 = 60 \% - 6,84 \% = 53,16 \% \text{ Por} \sim 500,2 \text{ ha}$$

$$\sum Y_{2z} = 500,2 \cdot 4,00 = 2001 \text{ t}$$

Výpočet výnosu řepky:

$$\sum Y_{S5} = \sum C_{2sl} = 2001 \cdot 1,27 \cdot 0,386 = 981 \text{ t}$$

$$\sum Y_{5\text{max}} = 981/117,6 = 8,34 \sim Y_{5s} = 2,78 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}, \text{ což přibližně odpovídá četnosti } 7/10.$$

..

Tab. 21. Návrh struktury ZS – ZD Skalka – Jankov var. 1 b - zaměřené na řepku

Plodina	P	P	Ys	ΣYs
	[ha]	[% Por]	[t·ha <sup>-1</sup> ]	[t]
P <sub>0</sub> - kukuřice	109,9	11,68	6,37 č. 7/10	700
P <sub>1</sub> – víceleté pícniny	213,2	22,66	6,50 č. 7/9	1386
P <sub>2</sub> – obiloviny	500,2	53,16	4,00* č. 4/10	2001*
P <sub>5</sub> - řepka	117,6	12,50	2,78* č. cca 7/10	327* (981)
<b>Por – orná půda</b>	<b>941</b>	<b>100,00</b>		
P <sub>4</sub> - TTP	311,0	24,84 % Pz	3,76 č.7/10	1169
<b>Pz - zemědělská půda</b>	<b>1252,0</b>			

\* zrno obilovin, semeno řepky

Tab. 22. Dekompozice struktury ZS – ZD Skalka – Jankov – var. 1 b – zaměřená na řepku

Plodina	ΣYs [t] · koeficient	ΣCk [t]
ΣY <sub>s0</sub> – kukuřice	700·0,386·0,785	212
ΣY <sub>s1</sub> – víceleté pícniny	1386·0,386·0,785	420
ΣY <sub>s1</sub> – rhizomy	1386·0,45·0,360	225
ΣY <sub>2z</sub> – obiloviny - zrno	2001·0,065	(130)
ΣY <sub>2sl</sub> – obiloviny – sláma	2001·1,27·0,386	981
ΣY <sub>s4</sub> – TTP	1169·0,386·0,785	354
<b>Celkem</b>		<b>2192</b>

Výpočet aktivního uhlíku na zrno obilovin:

$$\text{OMEGA 2} = \Sigma Ck / \Sigma Y_{2z} = 2192 / 2001 = 1,095$$

Tab. 23. C – bilance struktury ZS – ZD Skalka – Jankov – var. 1 b – zaměřená na řepku

Plodina	P	Ys	ΣYs + ΣY <sub>Sri, sl</sub>	ΣCs + ΣC <sub>ri, sl</sub>	±C	C-bilance	C / ha
	[ha]	[t·ha <sup>-1</sup> ]					
P <sub>1</sub> – víceleté pícniny	213,2	6,50	1386 + 624	420 + 224	224	224	
P <sub>0</sub> – kukuřice	109,9	6,37	700	212	-212	12 + 1967	
P <sub>2</sub> – obiloviny	500,2	4,00	2001 + 2541	130 + 981	-1111	868	
P <sub>5</sub> - řepka	117,6	2,78	327 + 654	21 + 252	-273	595	0,632

Sklizeň z TTP

$$\sum Y_{S_4} = 1169$$

$$\sum C_4 = 1169 \cdot 0,386 \cdot 0,785$$

$$\sum C_4 = 354 \text{ t}$$

Součet uhlíku z organických hnojiv:

$$\sum C_{\text{org}} = 420 + 212 + 981 + 354$$

$$\sum C_{\text{org}} = 1967 \text{ t}$$

#### 4.8. Návrh struktury ZS- ZD Skalka – Jankov varianta 2 – pro bioplyn

$$P_{\text{or}} = 941 \text{ ha}$$

$$P_z = 1252 \text{ ha}$$

$$P_4 = 311 \text{ ha}$$

U stelivového ustájení skotu lze zpracováním slámnatého hnoje ověřeným postupem se zachycením bioplynu zpracovávat hnůj již od koncentrací 100 DJ (ŠOCH, 1996).

Vypočteme strukturu ZS – ZD Skalka – Jankov pro tuto limitní koncentraci.

Část pro bioplyn:

$$\sum Z = 100 \text{ DJ}$$

$$k_n = 4,0 \text{ t} \cdot \text{DJ}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$$

$$\sum Y_{S_{(0+1+4)}} = 100 \cdot 4,0 = 400$$

$$\sum Y_{S_0} = 0,215 \cdot 400 = 86 \quad P_0 = 86/6,37 \text{ č. } 7/10 = 13,5 \text{ ha} \sim 1,43 \% \text{ Por}$$

$$\sum Y_{S_1} = 400 - 86 = 314 \quad P_1 = 314/6,50 \text{ č. } 7/9 = 48,3 \text{ ha} \sim 5,13 \% \text{ Por}$$

Pro standardní OP zbývá:

$$P_{\text{or-standard}} = 941 - 13,5 - 48,3 = 879,2 \text{ ha} \sim 93,43 \% \text{ Por} \quad P_z = 1190,2 \text{ ha} \quad P_4 = 311 \text{ ha}$$

Volím  $P_{1\text{max}} = 25 \% \text{ Por}$

$$P_{1\text{bio}} = 5,13 \% \text{ Por} \quad P_{1\text{standard}} = 25 - 5,13 = 19,87 \% \text{ Por} \sim 187,0 \text{ ha}$$

$$\sum Y_{S_{1\text{stand}}} = 187,0 \cdot 6,50 \sim \text{č. } 7/9 = 1215 \text{ t}$$

$$\sum Y_{S_4} = 311 \cdot 3,76 \sim \text{č. } 7/10 = 1169 \text{ t}$$

$$\sum Y_{S_{0\text{stand}}} = 0,274 \cdot \sum Y_{S_{(1+4)}} = 0,274 \cdot (1215 + 1169) = 653,2$$

$$P_{0\text{stand}} = 653,2 / 6,37 \sim \text{č. } 7/10 = 102,5 \text{ ha} \sim 10,90 \% \text{ Por}$$

$$\sum Y_{2z} = \sum Y_{S_{(0+1+4)}} / C_2^P$$

$$(653 + 1215 + 1169) / 1,4388 = 2111 \text{ t}$$



$$P_2 = 2111 / 4,0 = 527,7 \text{ ha} \sim 56,08 \% \text{ Por}$$

Na řepku zbývá:

$$(P_{0\text{bio}} + P_{0\text{stand}} + P_{1\text{bio}} + P_{1\text{stand}} + P_2)$$

$$13,5 + 102,5 + 48,3 + 187,0 + 527,7 = 879 \text{ (ha)}$$

$$1,43 + 10,90 + 5,13 + 19,87 + 56,08 = 93,41 \text{ (\%)}$$

na řepku zbývá:  $(941 - 879,0) \text{ ha} = 62 \text{ ha} \sim 6,59 \% \text{ Por}$

Takto vypočtená struktura zcela vyhovuje.

Rozdělení plochy obilovin  $P_2$  na část pro strukturu pro bioplyn a standardní část, podle stavů skotu  $\sum Z$ .

$$P_2 = 527,7 \text{ ha} \sim 56,08 \% \text{ Por}$$

$$\sum Z_{\text{bioplyn}} = 100 \text{ DJ}$$

$$\sum Z_{\text{standard}} = \sum Y_{S(0+1+4)} / 4 = (653 + 1215 + 1169) / 4 = 759,3 \text{ DJ}$$

-----  
$$\sum Z_{\text{celkem}} = 859,3 \text{ DJ}$$

$$h_{z, \text{celkem}} = 859,3 / 1252 = 0,686 \text{ DJ} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ Pz}$$

$$P_{2 \text{ bioplyn}} = 527,7 \cdot 100 / 859,3 = 61,4 \text{ ha} \sim 6,53 \% \text{ Por}$$

$$P_{2 \text{ standard}} = 527,7 \cdot 759,3 / 859,3 = 466,3 \text{ ha} \sim 49,55 \% \text{ Por}$$

$$P_{2 \text{ celkem}} = 527,7 \text{ ha} \sim 56,08 \% \text{ Por}$$

Tab. 24. Návrh struktury ZS – ZD Skalka – Jankov - var. 2 – pro bioplyn

Plodina	P	P	Ys	∑Ys
	[ha]	[% Por]	[t · ha <sup>-1</sup> ]	[t]
P <sub>0</sub> - bioplyn	13,5	1,43	6,37 č. 7/10	86
P <sub>1</sub> – bioplyn	48,3	5,13	6,50 č. 7/9	314
P <sub>2</sub> – bioplyn	61,4	6,53	4,00* č. 4/10	246*
P <sub>0</sub> - standard	102,5	10,90	6,37 č. 7/10	653
P <sub>1</sub> - standard	187,0	19,87	6,50 č. 7/9	1215
P <sub>2</sub> - standard	466,3	49,55	4,00* č. 4/10	1865*
P <sub>5</sub> - standard	62,0	6,59	2,90* č. 6/10 (8,70)	180*(539)
<b>Por</b>	<b>941,0</b>	<b>100,00</b>		
P <sub>4</sub> - standard	311,0	24,84 % Pz	3,76 č. 7/10	1169
<b>Pz</b>	<b>1252</b>			

\*zrno obilovin, semeno řepky

Tab. 25. Dekompozice struktury ZS – ZD Skalka – Jankov – var. 2 – pro bioplyn

Plodina	∑Ys [t] · koeficient	∑Ck [t]
∑Y <sub>S0</sub> – standard	653 · 0,386 · 0,785	198
∑Y <sub>S1-ri</sub> – bioplyn	314 · 0,45 · 0,360	51
∑Y <sub>S1</sub> – standard	1215 · 0,386 · 0,785	368
∑Y <sub>S1-ri</sub> – standard	1215 · 0,45 · 0,360	197
∑Y <sub>2z</sub> - bioplyn	246 · 0,065	(16)
∑Y <sub>2z</sub> - standard	1865 · 0,065	(121)
∑Y <sub>2sl</sub> – standard	1865 · 1,27 · 0,386	914
∑Y <sub>S4</sub> – (standard)	1169 · 0,386 · 0,785	354
<b>Celkem</b>		<b>2082</b>

Výpočet aktivního uhlíku na zrno obilovin:

$$\text{OMEGA 2} = \sum Ck / \sum Y_{2z} = 2082 / (246 + 1865) = 2082 / 2111 = 0,986$$

Tab. 26. C-bilance struktury ZS – ZD Skalka – Jankov – var. 2 – pro bioplyn

Plodina	P	Ys	$\sum Y_s + \sum Y_{s_{ri, sl}}$	$\sum C_s + \sum C_{ri, sl}$	$\pm C$	C-bilance	C / ha
	[ha]	[t·ha <sup>-1</sup> ]					
P <sub>1</sub> – bioplyn	48,3	6,50	314 + 141	95 + 51	51	51	
P <sub>1</sub> – standard	187,0	6,50	1215 + 547	368 + 197	-197	248	
P <sub>0</sub> – bioplyn	13,5	6,37	86	26	-26	222 + 1834	
P <sub>0</sub> – standard	102,5	6,37	653	198	-198	1858	
P <sub>2</sub> – bioplyn	61,4	4,0	246 + 312	16 + 121	-137	1721	
P <sub>2</sub> – standard	466,3	4,0	1865 + 2369	121 + 914	-1035	686	
P <sub>5</sub> – (standard)	62,0	2,90	180 + 360	12 + 139	-151	535	0,569

Sklizeň z TTP

$$\sum Y_{s4} = 1169$$

$$\sum C_4 = 1169 \cdot 0,386 \cdot 0,785$$

$$\sum C_4 = 354 \text{ t}$$

Součet uhlíku z organických hnojiv:

$$\sum C_{org} = 368 + 198 + 914 + 354$$

$$\sum C_{org} = 1834 \text{ t}$$

#### 4.8.1. Porovnání ETA 0, OMEGA 2 a C-bilance původní struktury s navrhovanými variantami

Tab. 27. Porovnání parametrů struktury ZS – ZD Skalka – Jankov navržených variant

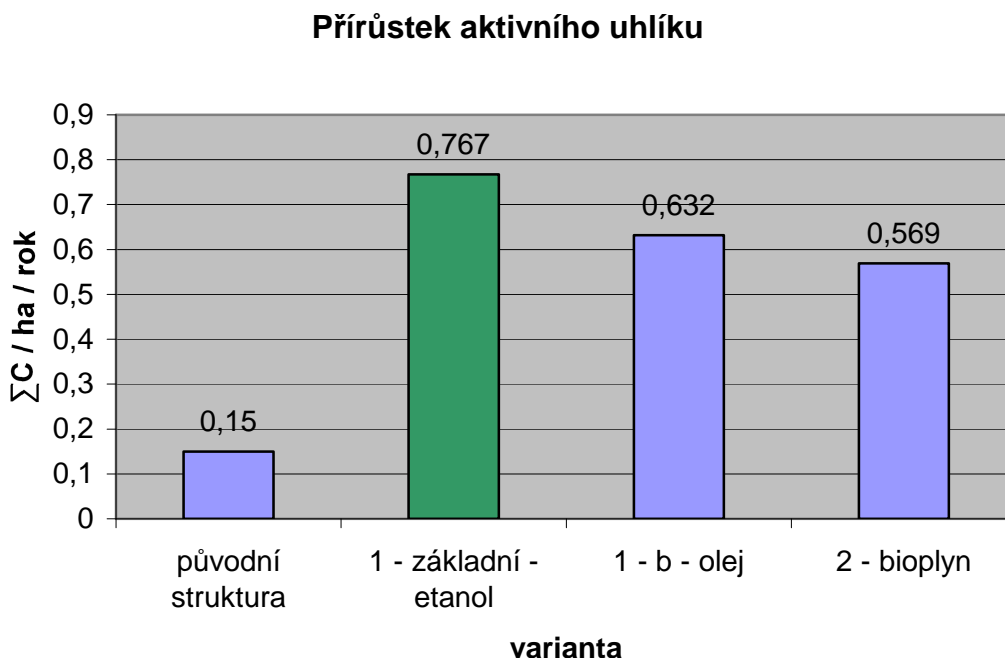
Varianta	$\sum Y_{s0} / \sum Y_{s(1+4)}$	$\sum C_k / \sum Y_{2z}$	$\sum C / \text{ha} / \text{rok}$
původní struktura	0,708	0,875	0,150
1 – základní - etanol	0,274	1,026	0,767
1 – b - olej	0,274	1,095	0,632
2 - bioplyn	0,274	0,986	0,569

V původní struktuře parametr ETA 0 dosahuje hodnoty 0,708, což je více jak dvojnásobek doporučené hodnoty. Optimalizovaná hodnota by měla být 0,274. Vysoká hodnota parametru ETA 0 je dána především extrémně nízkým zastoupením víceletých píceňin (6,28 % Por). Optimální hodnota parametru OMEGA 2 je 1. V původní soustavě dosahuje hodnoty 0,875, což značí, že výnosy obilovin jsou vyšší, než je množství zdrojů uhlíku. V navrhovaných variantách se již hodnoty pohybují kolem jedné, to znamená, že výnos obilovin je celý kryt aktivním uhlíkem zdrojů.

Hodnota C/ha naznačuje, jak dlouho bude trvat dosažení navrhovaného stavu. Z grafu je patrné, že nejkratší doba pro dosažení navrhovaného stavu bude u varianty 1 – základní.

Původní struktura vykazuje nejnižší roční přírůstek aktivního uhlíku, je to způsobeno nedostatkem zdrojů uhlíku a vlivem nízké hustoty skotu.

Graf 10: Roční přírůstek aktivního uhlíku jednotlivých variant v půdě



#### 4.8.2. Spotřeba $\Sigma Y_{2z}$ na 1 DJ při úplném krytí z vlastní produkce

Podle KAVKY (2000) – podle spotřeby sušiny:

Celková spotřeba sušiny na 1 DJ za rok – dojnice – průměrná užitkovost

5147 kg = 5,147 t → 14,1 kg na den

Sušina dodaná v objemných krmivech podle  $kn = 4,00$

4 t = 4000 kg

Na jadrná krmiva zbývá:

$5,147 - 4,0 = 1,147 \text{ t} \cdot \text{DJ}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1} \rightarrow 3,142 \text{ kg na den}$

Orientační spotřeba jadrných směsí kg na DJ (dojnice průměrná užitkovost) za rok:

1136 → 3,11 kg na den

### 4.8.3. Rozdělení produkce obilovin – ZD Skalka – Jankov

Tab. 27. Prodej setového obilí [t]

	2006	2007	2008	Celkem 2006 - 2008	Průměr [za rok]
Pšenice ozimá	135,8	155,1	73,6	364,5	121,5
Ječmen ozimý	30,3	71,2	122,3	223,8	74,6
Ječmen jarní	96,1	-	53,6	149,7	49,9
Celkem	262,2	226,3	249,5	738,0	246,0

Tab. 28. Spotřeba vlastního obilí ke krmení prasat (ječmen + pšenice) [t]

	2006	2007	2008	Celkem 2006 - 2008	Průměr [za rok]
Výkrm	374,2	335,2	392,6	1102,0	367,3
Předvýkrm	119,5	113,9	138,1	371,5	123,8
Porodny	140,3	137,9	160,0	438,2	146,1
Celkem	634,0	587,0	690,7	1911,7	637,2

Tab. 29. Rozdělení produkce obilí (neuvažováno obilí pro prasata) [t]

Varianta	$\sum Y_{2z}$ celkem	Prodej setového obilí	Krmné obilí pro skot		Na bioetanol zbývá
			$\sum Z$	$\sum Y_{2z}$	
1 - základní	2262	246	814	934	1082
1 - b	2001	246	814	934	821
2	2111	246	859	985	880

Tab. 30. Rozdělení produkce obilí (uvažováno s obilím – ječmene + pšenice – pro prasata) [t]

Varianta	$\sum Y_{2z}$ Celkem	Prodej setového obilí	Krmné obilí pro skot		Krmné obilí pro prasata	Na bioetanol zbývá
			$\sum Z$	$\sum Y_{2z}$		
1 - základní	2262	246	814	934	637	445
1 - b	2001	246	814	934	637	184
2	2111	246	859	985	637	243

#### 4.8.4. Porovnání produkce bioenergie v navržených variantách

##### Použité energetické parametry:

1 t zrna – 342 l etanolu

1 t řepkového semene – 320 l oleje

1 l etanolu – 2,99 kWh

1 l oleje – 2,52 kWh

1DJ –  $0,943 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1} \rightarrow 344 \text{ m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$

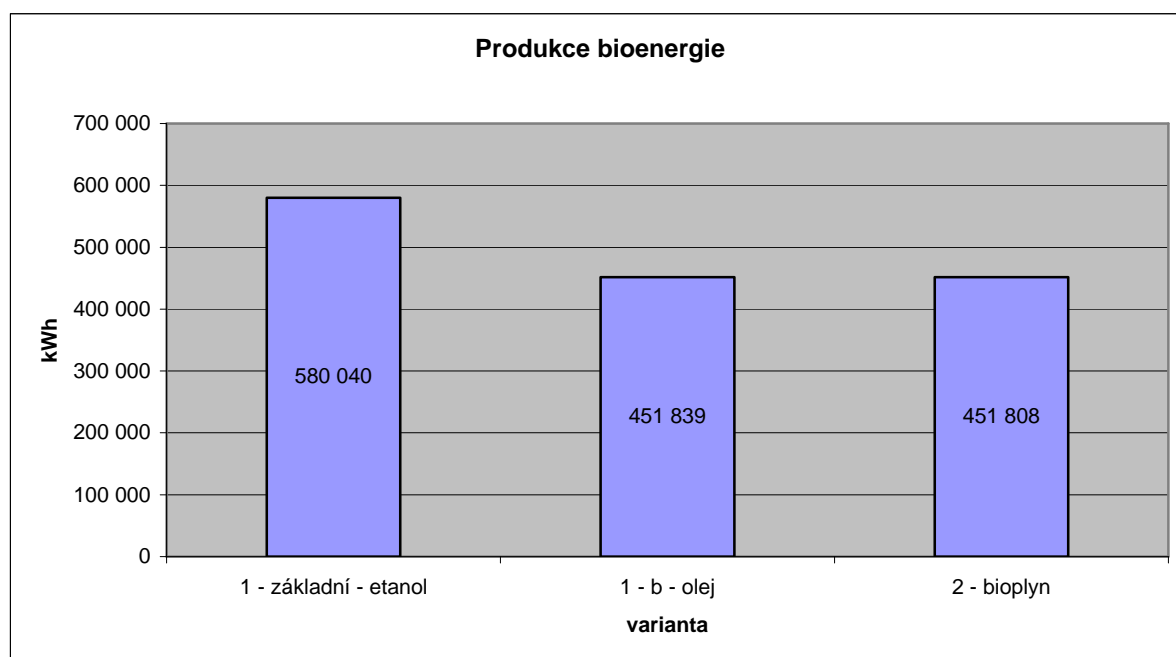
1 m<sup>3</sup> bioplynu – 1,69 kWh

Pro výpočet produkce bioenergie jsme zvolili možnost, kde je uvažováno s obilím – ječmene + pšenice bez směsi – pro prasata.

Tab. 31. Produkce bioenergie v navržených variantách struktury ZS

Varianta	Obilí			Řepka			Bioplyn		Celkem kWh
	t	Etanol [l]	kWh	t	Olej [t]	kWh	m <sup>3</sup>	kWh	
1 – základní - etanol	445	152 190	455 048	155	49,6	124 992	-	-	580 040
1 – b - olej	184	62 925	188 146	327	104,6	263 693	-	-	451 839
2 - bioplyn	243	83 106	248 487	180	57,6	145 152	34 420	58169	451 808

Graf 10: Produkce bioenergie



## 5. DISKUSE

Cílem této práce bylo vypracování návrhu optimalizované struktury zemědělské soustavy Zemědělského družstva Skalka – Jankov při zaměření na produkci bioenergie na základě analýzy za časovou řadu deseti let, tj. od roku 1998 – 2007. Práce obsahuje tři možné varianty struktury družstva zaměřené na výrobu etanolu, bionafty a bioplynu.

Je zde předložen návrh struktury zemědělské soustavy provedený metodou uhlíkové bilance, tzn. posouzení plodin jako spotřebitelů uhlíku nebo producentů uhlíku.

Mezi hlavní zdroje uhlíku v soustavě zahrnujeme jednoleté a víceleté píceňiny a trvalé travní porosty. Hlavním spotřebitelem uhlíku jsou naopak olejňiny. Obilňiny se z pohledu spotřeby či produkce uhlíku hodnotí jako neutrální.

Při analýze zemědělské soustavy se vycházelo z údajů o plochách sklizňí, výnosech plodin, stavů skotu a spotřebě minerálních hnojiv za jednotlivé roky časové řady deseti let.

Celkové plochy zemědělské půdy mají vyrovňaný charakter, až na poslední dva roky, kdy je pokles ploch výrazný. V dnešní době se tato plocha zemědělské půdy pohybuje na úrovni 1252 ha, což je téměř o 120 ha méně, než v předcházejících rocích. Z celkové plochy zemědělské půdy tvoří orná půda 941 ha a zbytek jsou TTP. V původní zemědělské soustavě tvoří jednoleté píceňiny 18,55 %, víceleté píceňiny 6,28 % Por, obilňiny 62,05 % Por, olejňiny 10,27 % Por, jíceľek na semeno 0,84 % Por, luskoviny 1,91 % Por a okopaniny 0,1 % Por.

Výnosy plodin v průběhu časové řady hodně kolísají. To je způsobeno porušením C bilance vlivem nízké hustoty skotu a nedostatkem zdrojů uhlíku.

Hustota skotu na jeden hektar v této desetileté řadě má klesající charakter. Došlo ke snížení hustoty skotu z původních 0,664 na 0,411 DJ.ha<sup>-1</sup>, což je o 0,253 DJ na hektar.

Celostátní průměr hustoty skotu je podle KVAPILÍKA, PYTLOUNA, BUCKA (2007) 0,246 DJ.ha<sup>-1</sup>. V porovňání s celostátním průměrem jsou tyto stavy skotu nadprůměrné, a to o 0,165 DJ.ha<sup>-1</sup>.

Spotřeba minerálních hnojiv je v časové řadě poměrně vyrovňaná, spíše s lehce klesajícím charakterem, až na roky 2002 a 2005, kdy hodnoty spotřeby minerálních hnojiv byly nadprůměrné, jejich hodnoty přesáhly hranici 100 kg NPK na hektar, jinak se spotřeba NPK pohybovala bez roků 2002 a 2005 průměrně kolem 80 kg NPK na hektar.

Jako významné parametry pro hodnocení návrhů struktury zemědělské soustavy je použití parametru ETA 0 a parametru OMEGA 2. Parametr ETA 0 vyjadřuje poměr suché hmoty jednoletých píceňin k suché hmotě víceletých píceňin a luk. Při výpočtu ETA 0 zjistíme, že v původní struktuře tento parametr dosahuje hodnoty 0,708, což je více jak dvojnásobek

doporučované hodnoty. Optimalizovaná hodnota by měla být 0,274. Vysoká hodnota parametru ETA 0 je dána především extrémně nízkým zastoupením víceletých píceň (6,28 % Por). Optimální hodnota parametru OMEGA 2 je 1. Charakterizuje pokrytí sklizně zrna obilovin aktivním uhlíkem. V původní soustavě dosahuje hodnoty 0,875, což značí, že výnosy obilovin jsou vyšší, než je množství zdrojů uhlíku. V navrhovaných variantách se již hodnoty pohybují kolem jedné, to znamená, že výnos obilovin je celý kryt aktivním uhlíkem zdrojů.

Výpočet C-bilance vyjadřuje pokrytí potřeby aktivního uhlíku pro všechny plodiny. Všechny navržené varianty vykazují uspokojivé hodnoty ročního přírůstku  $C.ha^{-1}$ , a to v rozmezí 0,569 – 0,767. Nejnížší hodnota je ve variantě 2 – zaměřené na bioplyn, největší je ve variantě 1 – základní se zaměřením na obiloviny. V původní struktuře ZS vychází C-bilance nízko a to 0,150 t  $C.ha^{-1}.rok^{-1}$ . Je to dáno nízkým zastoupením plodin charakteru zdrojů nad plodinami charakteru spotřebitelů a nízkými stavy skotu, které činí za časovou řadu v průměru 0,508 DJ. $ha^{-1}$ .



## 6. ZÁVĚR

Předložená práce obsahuje analýzu vnitřní struktury zemědělské soustavy Zemědělského družstva Skalka – Jankov, návrh optimální zemědělské struktury a návrhy na produkci bioenergie z biomasy, konkrétně produkci obilovin pro etanol, řepky pro výrobu bionafty a výrobu bioplynu z odpadů vzniklých při chovu skotu.

Při sestavování variant se vycházelo z původní zemědělské struktury Zemědělského družstva Skalka – Jankov. Předpokladem pro výpočet jednotlivých soustav je snaha o optimální bilanci z hlediska parametrů ETA 0 a OMEGA 2.

Varianta 1 - základní je zaměřena na výrobu etanolu z obilovin. Je zaměřena na obiloviny se sníženým zastoupením plodin charakteru spotřebitelů uhlíku (zejména řepky). Výpočet vychází z C-bilance. V návrhu došlo ke snížení ploch obilovin na 60 % Por, tj. o 2,05 % Por méně než u původní struktury a snížení ploch řepky na hodnotu 5,66 % Por, to je o 2,62 % méně než u původní struktury. Ve variantě je počítáno s hustotou skotu 0,65 DJ.ha<sup>-1</sup>.

Ve variantě 1 - b zaměřené na výrobu oleje byly navýšeny plochy řepky na úkor obilovin. Při použití této varianty došlo k navýšení ploch řepky o 4,22 % na hodnotu 12,5 % Por, a zároveň snížení ploch obilovin o 8,89 % na 53,16 % Por.

Ve variantě 2, jež je zaměřená na produkci bioplynu z odpadu vzniklého při chovu skotu, byly navýšeny plochy víceletých píceň o 18,72 % na 25 % Por. Dále byly navýšeny stavy skotu o 100 DJ na 859,3 DJ, protože podle ŠOCHA (1996) je minimální počet zvířat pro rentabilní výrobu bioplynu 100 DJ.

Aby navržené varianty struktury bylo možno porovnávat z hlediska produkce bioenergie, měly by být přibližně rovnocenné z pohledu C-bilance jako hlavního kritéria pro zajištění progresivního vývoje bioenergetického potenciálu půdy. Z pohledu C-bilance se jako nejvýhodnější jeví var. 1 – základní zaměřená na obiloviny, kde roční přírůstek aktivního uhlíku činí 0,767 t.ha<sup>-1</sup>, následuje varianta 1b – zaměření na řepku (0,632 t.ha<sup>-1</sup>) a var. 2 – zaměření na bioplyn (0,569 t.ha<sup>-1</sup>).

Z pohledu produkce energie a následného zisku se pro podnik hospodařící v daných přírodních podmínkách nejlépe jeví varianta 1 – základní, zaměřená na produkci etanolu z obilovin. Z ekonomického pohledu je tato varianta finančně nenáročná, nemusí se měnit agrotechnika a strojový park.

Druhou nejvýhodnější variantou, i když produkce bioenergie této varianty přesahuje třetí variantu zaměřenou na bioplyn jen nepatrně, je varianta 1 – b, zaměřená na produkci řepkového oleje. Také není příliš finančně náročná. Je zde další výhoda poměrně vysokého

zastoupení ploch obilovin a tím možnosti zisku při nízkém výnosu jedné z těchto plodin. Stejně jako varianta 1 - základní si neklade nároky na změnu agrotechniky a zásahy do strojového vybavení podniku.

Varianta 2 zaměřená na bioplyn vychází nejhůře z navrhovaných variant. Při této struktuře dosáhneme nejnižšího energetického zisku. V práci však není řešena technologie ani ekonomika získávání bioenergií. Proto nelze jednoznačně stanovit, která varianta by byla pro podnik nejvhodnější, co se týče investic na výstavbu jednotlivých technologií pro výrobu energií. Jako nejnákladnější na výstavbu technologie získávání energie se jeví varianta 2 – pro výrobu bioplynu, ale již existují jednoduchá výrobní zařízení pro výrobu bioplynu s nízkou pořizovací cenou – pro malé zemědělské podniky, technologie je známá a v zahraničí značně využívaná, a proto lze těžko zhodnotit varianty podle potřeby investic.

Vypočtené struktury ZS představují cílový stav. Dosažení parametrů v navržených variantách by si nutně vyžádalo delší čas, minimálně několika let. Jde především o hustotu skotu, její navýšení ze současných 0,41 na cílových minimálně 0,65 DJ.ha<sup>-1</sup>. Tomu by musely odpovídat mléčné kvóty, jejich postupné navyšování, eventuálně zrušení, vytvoření podmínek pro rentabilitu výroby mléka v rámci ČR a celkové ekonomické podmínky pro zemědělce, aby mohli uvažovat dlouhodobě, mohli si dovolit zvyšování stavů skotu – v zájmu obnovy půdní úrodnosti, stabilizace a růstu výnosů plodin.

Přínos zemědělství k řešení současných ekologických a v podstatě i klimatických problémů je přes hospodaření s vodou, vytvoření podmínek pro růst aktivních složek vodní bilance, což je jednak transpirace plodin, jednak podzemní vody (KUDRNA, ŠINDELÁŘOVÁ, 2004), zatímco za pasivní složky je považován povrchový odtok a evaporace.

## 7. POUŽITÁ LITERATURA

- BERANOVSKÝ, J, TRUXA, J.** Biomasa. In: Energie biomasy [online]. Praha: EkoWATT, 1999. [cit. 2004 - 02 -10]. Dostupné na WWW: <http://www.i.ekis.cz/?page=biomasa>
- CENK, M.** Obnovitelné zdroje energie. Praha, vyd. FCC Public, 2001, 208 s.
- ČERMÁKOVÁ, A, STŘELEČEK, F.** Statistika I. JCU ZF České Budějovice, 1995, 72 s.
- DIVIŠ, J.** Biopaliva, methylestery a směsná paliva. Sborník vědeckých a odborných prací. Bioethanolový program v České republice, VÚZT, Praha, 2004, s. 9 – 16.
- DOHÁNYOS, M, ZÁBRANSKÁ, J.** Základní principy anaerobního rozkladu organických látek. In „Možnosti výroby a využití bioplynu v zemědělství“. Třeboň: Ústav technologie vody a prostředí, 2001, 132 s.
- FIŘT, J.** Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu, 2008, 8 s. Dostupné na: <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=15&i=11#550>.
- GRAF, W.** Kraftwerk Weise, Strom und Wärme aus Graz, druck: Books an Demanad, 2001, 156 s.
- HOBSON, P, BOUSFIELD, S, SUMMERS, R.** Anaerobic digestion of organic matter. Critical Rev. Environm. Control, 1974, s. 131 – 191.
- HOLUBOVÁ, V., LUŇÁČEK, M.** Využití plodin pro energetické účely. Farmář, 2001, č. 24, s. 22 – 23.
- CHEN, Y, HASHIMOTO, A.** Substrate utilization kinetic–model for biological treatment process. Biotechnology and Bioengineering, 1980, p. 81 – 95.
- INNEMANOVÁ, P.** Energie pro jihočeský venkov. Anaerobní digesce – principy, využití, perspektivy, 2008, Ústav fyzikální biologie, Nové Hrady s. 34 – 42.
- KAJAN, M.** Bioplyn z odpadů živočišné výroby. Biom.cz [online], 2006, Dostupné z WWW:<http://biom.cz/index.shtml?x=475365>.
- KÁRA, J.** Motorová paliva z biomasy v České republice. Zemědělské informace, Praha: ÚZPI, 2001, 39 s.
- KAVKA, M, A KOL.** Normativy zemědělských technologií. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských technologií, 2000.
- KOLÁŘ, L, LEDVINA, R, KUŽEL, S.** Anaerobní vyhnívání travní biomasy z hnojených a nehnojených půd. In : EKOTREND: trvale udržitelný rozvoj, 2001 s. 217 – 218.
- KŘEPELKA, V.** Využití bioetanolu jako paliva v zemědělství. Praha: ÚZPI, 1997, 40 s.
- KUDRNA, K.** Zemědělské soustavy. Praha: SZN, 1979, 708 s.
- KUDRNA, K.** Zemědělské soustavy. Druhé doplněné vydání, Praha: SZN, 1985, 720 s.

- KUDRNA, K.** Zemědělské systémové inženýrství, jeho cíle, metody a uplatnění v zemědělských soustavách. Neuměřice: Centrum pro zemědělské soustavy, 1996, 56 s.
- KUDRNA, K.** Analýza a navrhování zemědělských soustav. Meliorace, 1989, roč. 25, č. 2, s. 93 – 103.
- KUDRNA, K.** Obecné parametry zemědělských soustav při modelování jejich optimální struktury. Rostlinná výroba, 1987, č. 5, s. 337 – 346.
- KUDRNA, K.** Zákony vývoje zemědělské soustavy. Meliorace, 1989, roč. 25, č.2, s. 81 – 92.
- KUDRNA, K., ŠINDELÁŘOVÁ, M.** K problému uzavřené zemědělské soustavy na energetickém principu. Coll. of Scientific Papers, Faculty of Agriculture in České Budějovice, 2000, sv. 17, č. 2, s. 121-129.
- KUDRNA, K., ŠINDELÁŘOVÁ M.** Equilibrium of water balance as a basic precondition of progressive development of land area. Journal of Central European Agriculture, 2004, vol. 5, no. 4, p. 273-280.
- KUŽEL, S, KOLÁŘ, L, LEDVINA, R, KLUFOVÁ, R.** Využití travní hmoty pro výrobu bioplynu. In „Možnosti výroby a využití bioplynu v zemědělství“. Třeboň, 2001, 132 s.
- KVAPILÍK, J, PYTLOUN, J, BUCEK, P.** Ročenka chov skotu v České republice za rok 2006, Českomoravská společnost chovatelů, Praha, 2007, 93 s.
- LAURIN, J.** Uplatnění motorových biopaliv v dopravě v ČR. Liberec, 2006, dostupné na <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3579&h=27>
- MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU Č.R.** Úspěšné projekty v OPPP – inspirace pro budoucnost. Praha, 2007, 103 s.
- MOUDRÝ, J., STRAŠIL, Z.** Energetické plodiny v ekologickém zemědělství. Vh press Hradec Králové, 1998, 56 s.
- NORDBERG, A.** One and two phase anaerobic digestion of ley crop silage with and without liquid recirculation. Swedish Univ. Agric. Sci., 1996, 64 p.
- OLESZKIEWICZ, J.** High-solids anaerobic digestion of mixed municipal and industrial waste. J: Environ. Eng., 11, 1997, s. 1087 – 1092.
- PASTOREK, Z.** Bioplyn v zemědělství. Sborník semináře „Efektivní využití obnovitelných a druhotných zdrojů energie“, České Budějovice, 1995, s. 2 – 7.
- PASTOREK, Z., KÁRA, J., JEVIČ, P.** Biomasa obnovitelný zdroj energie. Praha: FCC PUBLIC, 2004. 288 s.

- PETŘÍKOVÁ, V.** Biomasa – obnovitelný zdroj energie. Biom.cz., 2001, dostupné na:  
WWW: <http://biom.cz/index.shtml?x=48073>.
- POLÁK, R.** Podpora výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů, 2009, dostupný na:  
<http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=5454&h=30>
- PŘIKRYL, M, A KOL.** Technologická zařízení staveb živočišné výroby. Nakladatelství  
Tempo Press Praha. 1997, 276 s.
- QUITT, E.** Klimatické oblasti Československa. GÚ ČSAV Brno: Academia Studia  
Geographica, 1971, 73 s.
- SCHULZ, H, EDER, B.** Bioplyn v praxi. Základy, plánování, stavba zařízení, příklady,  
HEL, 2004, Ostrava, 167 s.
- SEQUENS, E, HALAMA, M.** Atlas instalací obnovitelných zdrojů energií. Sdružení pro  
záchranu prostředí, Phare, 1999, 68 s.
- SOUČEK, J.** Výroba a využití kapalných biopaliv. VÚRV, Praha, 2006, 23 s.
- SOUČKOVÁ, H, MOUDRÝ, J.** Nepotravinářské využití fytomasy. Výzkumný ústav  
zemědělské ekonomiky Praha, České Budějovice, JCU, ZF, 2006, 100 s.
- STEWART, D.** Energy biogas production from crops at the Invermay Energy Farm. Agink,  
1980, č. 3, s. 80.
- SVĚTLÍK, M.** Zemědělská technika a biomasa. Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2006  
Praha, 155 s.
- ŠOCH, M.** Výroba a využití bioplynu. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích,  
Zemědělská fakulta, 1996, 58 s.
- ŠTYSOVÁ, N.** Energie pro jihočeský venkov. „Evropský zemědělský fond pro rozvoj  
venkova: Evropa investuje do venkovských oblastí“. Ústav fyzikální biologie Nové  
Hrady, 2008, 71 s.
- ŠVACHULA, V, VAŠÁK, J, PULKRÁBEK, J.** Zemědělské soustavy v minulosti, dnes a  
v budoucnu. Seminář pořádaný Českou zemědělskou univerzitou v Praze za podpory  
Ministerstva zemědělství České republiky, věnovaný odbornému vzdělávání ke vstupu  
do EU, 2000, 15 s.
- TICHÝ, F, et al.** Pěstební technologie a úprava zrna pšenice ozimé a triticales pro výrobu  
etanolu. Studijní informace – Rostlinná výroba, Praha: ÚZPI, 2001, č. 5, 41 s.
- VÁŇA, J.** Zpracování biomasy travních a rákosových porostů na bioplyn a organické  
hnojivo. [Výroční zpráva.] Praha, VÚRV, 1997.
- VÁŇA, J, SLEJŠKA, A.** Bioplyn z rostlinné biomasy. Studijní informace – Rostlinná  
výroba, Praha: ÚZPI, 1998, č. 5, 40 s.

**WICHERET, B, WITTRUP, L, ROBEL, R.** Biogas, compost and fuel cells. Biocycle, 1994, s. 34 – 36.

**WOLFF, J, PASTOREK, Z.** Výroba a využití bioplynu v zemědělství. Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha, 1992, 31 s.

**ZAUNER, E.** Biogasgewinnung aus Pflanzenstofffen. Landbauforschung Volkenrode, 35, Heft 2, 1985, s. 67 - 74

**ZEHNDER, A, SVENSSON, B.** Life without oxygen: what can and what cannot? Experimentia, 1986, 42 s.

<http://vyzva.partnerstvi-jmk.cz/download.php?file=61.doc&>

<http://search.centrum.cz/index.php?charset=utf->

[8&q=Z%C4%9Bm%C4%9Bd%C4%9Blsk%C3%A9+soustavy&kibitz=0&mt=2&mts=1&sec=mix](http://search.centrum.cz/index.php?charset=utf-8&q=Z%C4%9Bm%C4%9Bd%C4%9Blsk%C3%A9+soustavy&kibitz=0&mt=2&mts=1&sec=mix)