

# Zdroje biomasy a její energetické využití

## 2.1. Základní východiska

Nejdříve si uvedme, jaké jsou vlastně možnosti získávání biomasy k energetickým účelům.

V tab. 2.1 uvádíme plochy využitelné k produkci kulturních plodin v celosvětovém měřítku.

**Tab. 2.1.** Zemědělsky a lesnický využitelná půda světa z hlediska přírodních podmínek

Individuální faktory		
– dostatečné srážky	6 278	43
– spolehlivé srážky	6 723	46
– příznivá teplota	11 948	83
– vhodná topografie	9 194	64
– úrodná půda	6 602	46
Kombinace faktorů		
– dostatečné a spolehlivé srážky	4 941	34
– dostatečné a spolehlivé srážky a příznivá teplota	4 617	32
– dostatečné a spolehlivé srážky a příznivá teplota a vhodná topografie (zemědělská a lesní půda)	2 997	21
– dostatečné a spolehlivé srážky, příznivá teplota, vhodná topografie a orná půda	1 053	7
Celkový povrch souše	14 458 <sup>*)</sup>	100

<sup>\*)</sup> Údaj o celkové rozloze suché části povrchu Země je poněkud podhodnocen, činí asi 144,6 mil. km<sup>2</sup>, zatímco ve skutečnosti dosahuje tato rozloha zhruba 149,4 mil. km<sup>2</sup>.

Tato plocha je velmi malá, 7 až 21 % pevniny. V osvojování zemského povrchu pro pěstování kulturních plodin jsou značné rezervy.

Přitom je ovšem nezbytně nutné postupovat značně opatrně, neboť jsou zde rizika změn ekosystémů a klimatických podmínek velkých oblastí (viz např. likvidace amazonských pralesů, vysychání Aralského jezera, vznik Saharské pouště).

V ČR je situace podstatně lepší. Celková rozloha státu je 7 886 tis. ha.

Tato značná část rozlohy státu umožňuje poměrně významné využití odpadních

**Tab. 2.2.** Struktura zemědělského půdního fondu ČR [2.1]

Struktura zemědělského půdního fondu ČR [2.1]	
zemědělská půda	4 271 (tj. 54 % rozlohy)
- z toho orná půda	3 125 (tj. 40 % rozlohy)
lesní půda	2 631 (tj. 33 % rozlohy)
Zemědělská a lesní půda celkem	6 902 (tj. 87 % rozlohy)

i pěstovaných biopaliv ve venkovských regionech. Nelze ale předpokládat, že v nejbližší době nahradí uhlí nebo ostatní fosilní paliva, to by nebylo reálné.

## 2.2. Co je biomasa

Biomasa je definována jako substance biologického původu (pěstování rostlin v půdě nebo ve vodě, chov živočichů, produkce organického původu, organické odpady). Biomasa je buď záměrně získávána jako výsledek výrobní činnosti, nebo se jedná o využití odpadů ze zemědělské, potravinářské a lesní výroby, z komunálního hospodářství, z údržby krajiny a péče o ni.

Teoretické propočty různých odborníků uvádějí roční celosvětovou produkci biomasy na úrovni 100 miliard tun, jejíž energetický potenciál se pohybuje kolem 1 400 EJ. To je téměř pětikrát více, než činí roční světová spotřeba fosilních paliv (300 EJ). Čím je tedy limitováno využití biomasy k energetickým účelům a vyřešení jednoho z globálních problémů lidstva?

- › Produkce biomasy pro energetické účely konkuruje dalším způsobům využití biomasy (např. k potravinářským a krmivářským účelům, zajištění surovin pro průmyslové účely, uplatnění mimoprodukční funkce biomasy).
- › Zvyšování produkce biomasy vyžaduje rozšiřovat produkční plochy nebo zvyšovat intenzitu výroby biomasy, což přináší potřebu zvyšovat investice do výroby biomasy.
- › Získávání energie z biomasy v současných podmínkách s obtížemi ekonomicky konkuruje využití klasických energetických zdrojů. Tato skutečnost může být postupně měněna tlakem ekologické legislativy.
- › Maximální využití zdrojů biomasy k energetickým účelům z celosvětového hlediska je problematické vzhledem k rozmístění zdrojů biomasy a spotřebičů energie, vzhledem k potížím s akumulací, transportem a distribucí získané energie.

Na druhé straně existují nesporné výhody využití biomasy k energetickým účelům:

- › jsou menší negativní dopady na životní prostředí,
- › zdroj energie má obnovitelný charakter,

- jde o tuzemský zdroj energie, snižuje se spotřeba dovážených energetických zdrojů,
- zdroje biomasy nejsou lokálně omezeny,
- účelně se využijí spalitelné, někdy i toxické odpady,
- řízená produkce biomasy přispívá k vytváření krajiny a péči o ni.

Až do padesátých let dvacátého století si zemědělství a venkovská sídla zajišťovaly z větší části své energetické potřeby využitím biomasy z vlastních zdrojů. Pro tyto účely bylo určeno odhadem až 40 % zemědělské půdy.

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. Současná nadprodukce potravin vyvolává možnost vrátit část zemědělské půdy původnímu účelu, tj. krytí části energetických potřeb zemědělství a venkova. Ekologie a bioenergetika se stávají středem pozornosti podnikatelských subjektů na venkově.

### 2.3. Biomasa využitelná k energetickým účelům

Energetickou biomasu můžeme rozdělit do pěti základních skupin:

1. fytomasa s vysokým obsahem lignocelulózy,
2. fytomasa olejnatých plodin,
3. fytomasa s vysokým obsahem škrobu a cukru,
4. organické odpady a vedlejší produkty živočišného původu,
5. směsi různých organických odpadů.

Pro získávání energie se využívá:

- a) Biomasa záměrně pěstovaná k tomuto účelu: cukrová řepa, obilí, brambory, cukrová třtina (pro výrobu etylalkoholu), olejnin (z nich nejvýznamnější je řepka olejná<sup>\*)</sup> pro výrobu surových olejů a metylesterů, energetické dřeviny (vrby, topoly, olše, akáty a další stromové a keřovité dřeviny).
- b) Biomasa odpadní
  - Rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny: kukuřičná a obilná sláma, řepková sláma, zbytky z lučních a pastevních areálů, zbytky po likvidaci křovin a lesních náletů, odpady ze sadů a vinic.
  - Odpady z živočišné výroby: exkrementy z chovů hospodářských zvířat, zbytky krmiv, odpady mléčnic, odpady z přidružených zpracovatelských kapacit.
  - Komunální organické odpady z venkovských sídel: kaly z odpadních vod, organický podíl tuhých komunálních odpadů, odpadní organické zbytky z údržby zeleně a travnatých ploch.
  - Organické odpady z potravinářských a průmyslových výrob: odpady z provozů na zpracování a skladování rostlinné produkce, odpady z jatek, odpady z mlékáren, odpady z lihovarů a konzerváren, odpady z vinařských provozoven, odpady z dřevařských provozoven (odřezky, hobliny, piliny).
  - Lesní odpady (dendromasa): dřevní hmota z lesních probírek, kůra, větve, pařezy, kořeny po těžbě dřeva, palivové dřevo, manipulační odřezky, klest.

<sup>\*)</sup> Řepka olejka je název řepky zapsané v seznamu schválených odrůd. V některých literárních pramenech i legislativních dokumentech se uvádí řepka olejná jako obecný název pro všechny odrůdy řepky určené k výrobě řepkového oleje.

### 2.4. Způsoby využití biomasy k energetickým účelům

Způsob využití biomasy k energetickým účelům je do značné míry předurčen fyzikálními a chemickými vlastnostmi biomasy. Velmi důležitým parametrem je vlhkost, resp. obsah sušiny v biomase. Hodnota 50 % sušiny je přibližná hranice mezi mokrymi procesy (obsah sušiny je menší než 50 %) a suchými procesy (obsah sušiny je větší než 50 %). Z principiálního hlediska lze rozlišit několik způsobů získávání energie z biomasy (viz tab. 1.3) a přípravy biomasy pro energetické využití:

- a) termochemická přeměna biomasy (suché procesy pro energetické využití biomasy):
  - spalování,
  - zplyňování,
  - pyrolýza,
- b) biochemická přeměna biomasy (mokré procesy pro energetické využití biomasy):
  - alkoholové kvašení,
  - metanové kvašení,
- c) fyzikální a chemická přeměna biomasy:
  - mechanicky (štípání, drcení, lisování, briketování, peletování, mletí apod.),
  - chemicky (esterifikace surových bioolejů),
- d) získávání odpadního tepla při zpracování biomasy (např. při kompostování, aerobním čištění odpadních vod, anaerobní fermentaci pevných organických odpadů apod.).

Přestože existuje více způsobů využití biomasy k energetickým účelům, v praxi převládá ze suchých procesů spalování biomasy, z mokřých procesů výroba bioplynu anaerobní fermentací. Z ostatních způsobů dominuje výroba metylesteru kyselin bioolejů, získávaných v surovém stavu ze semen olejnatých rostlin.

K energetickým účelům lze využít v ČR asi 8 mil. t biomasy (tab. 2.3, bilance pevných paliv).

**Tab. 2.3. Zdroje energeticky využitelné biomasy v ČR [2, 2]**

Biopalivo	
odpadní a palivové dřevo	1,7
obilní a řepková sláma	2,7
rychlerostoucí dřeviny a energetické plodiny	1,0
komunální odpad	1,5
spalitelný odpad z průmyslové výroby	1,0
Celkem	7,9

Do celkové bilance biopaliv je nutné připočítat i bionaftu. V nejbližší době se předpokládá roční produkce 120 tis. tun (maximální množství asi 180 tis. t) bionafty a asi 22 mil. m<sup>3</sup> bioplynu.

### 2.5. Využitelnost ladem ležící zemědělské půdy

Nárůst přebytku zemědělské půdy vlivem zvyšování intenzity zemědělské produkce je celoevropským problémem.

V České republice je tento problém specifický tím, že prudký pokles spotřeby některých potravin byl provázen i poklesem intenzity zemědělské výroby.

Kvantifikace využití orné půdy v horizontu roku 2010 ukazuje, že při stávajícím poměru soběstačnosti bude třeba uvolnit z tradičního využití asi 400 tis. ha orné půdy. Při razantnějším zvyšování tempa intenzity rostlinné i živočišné výroby potřebné ke zvýšení čistého příjmu zemědělství a růstu zapojení do mezinárodního obchodu lze očekávat uvolnění orné půdy v ČR v rozsahu 0,5 až 1 mil. ha. Zvyšování intenzity je nezbytné i z hlediska vstupu do EU a zvýšení konkurenceschopnosti odvětví zemědělství.

Současná zemědělská politika řeší postupně projevy tohoto problému vývozem zemědělských komodit, systémem údržby luk a pastvin, zatrávněním a zalesněním. Tento přístup je z velké části jednosměrný. Nemůže ve své podstatě plně podpořit udržení potřebné ekonomické a sociální úrovně venkova. Má svá omezení ve vztahu k zajištění potravinové bezpečnosti, udržení osídlení a kvality života na venkově.

Jednou z nejperspektivnějších možností řešení využití nadbytečné zemědělské půdy je orientace produkce na energetické plodiny, to znamená rychlerostoucí dřeviny (r. r. d.), řepku, obiloviny, různé traviny (např. *Miscanthus*) a výrobu etanolu ze zemědělských produktů (obilí, brambory, cukrovka), na této půdě vypěstovaných. Využití etanolu, buď přímo, nebo spíše přepracováním na ETBE, je v souladu se světovým záměrem zvyšovat spotřebu bezolovnatých benzinů s obsahem oxygenátů (bioetanolová báze).

Tato cesta využití energetických plodin vede v našich podmínkách ke zlepšení životního prostředí, ke snížení závislosti na dovozech a v neposlední řadě významně přispívá k řešení očekávaného přebytku orné půdy do roku 2010.

## 2.6. Trendy ve využití zemědělské půdy do roku 2010 a dále

Celková výměra zemědělské půdy v České republice je 4 280 tis. ha, z čehož produkci, kterou může Česká republika spotřebovat jako potraviny, dokážeme vyprodukovat na ploše 2 700 tis. ha. Po odečtení plochy 1 mil. ha, která se nachází v podmínkách nevhodných k intenzivní zemědělské produkci (marginální oblasti), a 80 tis. ha, které budou postupně převedeny do jiných kategorií půdy (stavební pozemky, komunikace), zůstává 500 tis. ha, která se nachází v produkční oblasti a je využitelná pro intenzivní zemědělskou výrobu.

V této stati pomíjíme plochu 1 mil. ha v marginální oblasti, která se navrhuje řešit podporou chovu masného skotu a uvedením půdy do klidu, což předpokládá státní dotaci asi 4 mld. Kč ročně.

Tab. 2.4. Předpokládaná struktura zemědělské půdy

výměra zemědělské půdy	4 280	100
převod do jiných kategorií	80	2
výměra marginálních oblastí	1 000	23
půda s produkcí potravin pro spotřebu v ČR	2 700	63
„nadbytečná“ zemědělská půda	500	12

## 2.7. Využití obilovin pro energetické účely

Sláma zemědělských kulturních plodin, zejména obilovin a řepky, tvoří významný a nadějný zdroj biomasy pro energetické účely.

Pro potřeby energetického užití slámy jsme zpracovali potenciální bilanci našeho zemědělství.

Množství slámy je vypočítáno podle poměru zrna ke slámě, jak je uvedeno v tab. 2.5.

Tab. 2.5. Poměr zrna ke slámě

Plodina	Poměr zrna ke slámě
pšenice	1 : 1,85
žito	1 : 1,7
ječmen	1 : 0,8
oves	1 : 1,4
kukuřice na zrno	1 : 1,2
řepka olejná	1 : 1,2 až 1,8

Teoreticky možné disponibilní množství slámy pro energetické účely, skládající se ze 100 % slámy řepky a kukuřice na zrno a 20 % množství slámy z ostatních obilovin, činí asi 2,5 mil. tun.

Technologie pěstování a sklizně obilovin, včetně skladování slámy, je známá a propracovaná do relativní dokonalosti. V tomto směru nejsou obiloviny žádným problémem.

## 2.8. Méně známé či netradiční energetické plodiny

V tropických oblastech se běžně vyskytují víceleté traviny (*Miscanthus*, *Arundo*, *Pennisetum purpureum* a další), hovorově nazývané „deltská“ či „sloní“ tráva. Dorůstají výšky až 7 m a v ideálních tropických podmínkách produkují 66 až 88 t z ha za rok s obsahem asi 45 % C, 6 % H, 0,2 % N a 3 % popelovin. Výhřevnost absolutně suché biomasy těchto travin dosahuje až 18,5 MJ·kg<sup>-1</sup> (4 400 kcal·kg<sup>-1</sup>).

Po aklimatizaci v Evropě sice produkce sušiny „sloní trávy“ poklesla na asi 30, max. 40 tun z ha za rok, ale i tak zůstává jednoznačně nejperspektivnější energetickou plodinou. V SRN se již uvažuje, že asi 40 % v současné době dočasně neobdělávaných zemědělských pozemků (neobdělávaných z důvodu nadprodukce potravin v ES) bude vyčleněno právě pro pěstování těchto energetických travin.

Sklizeň „sloní trávy“ lze bez větších problémů realizovat technickými prostředky určenými pro sklizeň silážní kukuřice (sklizecími řezačkami), a protože sklizeň suchých rostlin není časově vázána na žádné konkrétní roční období, může probíhat i v zimě, což dokonce může pozitivním způsobem vyrovnávat celoroční potřebu pracovních sil a mechanizačních prostředků v zemědělství.

V našich podmínkách ale mají zajímavý biologický potenciál i jiné rostliny.

Z jednoletých jsou to rostliny jako čirok cukrový, zrnový, súdánská tráva, Hyso, ale též konopí seté a jiné. Z vytrvalých se nám jeví jako velmi perspektivní planě rostoucí

křídlatka z čeledi Polygonum, protože má zvlášť vysokou energetickou výtěžnost, je vytrvalá a každoročně vytváří vysoký objem biomasy. V poslední době se začaly testovat nové druhy vysokovzrůstných vytrvalých rostlin k přímému spalování, které jsou pro pěstování významně efektivnější než jednoleté.

**Tab. 2.6.** Výnosy suché hmoty v  $t \cdot ha^{-1}$  vybraných druhů jednoletých vytrvalých rostlin (průměr z různých lokalit) [2.3]

Rostlina	Výnos ( $t \cdot ha^{-1}$ )
Jednoleté:	
konopí	12,05
hyso	19,33
čirok zrnový	9,83
čirok cukrový	14,77
Vytrvalé:	
křídlatka	37,50
šťovík krmný (obr. 2.1, 2.2)	43,00
sléz topolovka (obr. 2.8)	13,40
smoloroň	11,20
bělotrn	16,50
pajasán žláznatý	16,97

Jako velmi perspektivní se jeví například krmný šťovík (kříženec špenátu a šťovíku fanšanského), dále vytrvalé slézy a další, jak je uvedeno ve výnosové tabulce (tab. 2.6).



**Obr. 2.1.** Šťovík – Uteuša před sklizní



**Obr. 2.2.** Šťovíkové pole v prvním roce po zasetí



**Obr. 2.3.** Stoh šťovíkové slámy ze sklizně z předchozího roku

Některé je tedy vhodné balíkovat, jiné sklízet řezačkou, či štěpkovat.

Z hlediska co nejvyššího obsahu sušiny je vhodné většinu těchto plodin sklízet v období leden – březen, zde je nutné ovšem říci, že jsou tak i vyšší ztráty odrolem.

## 2.9. Krmný šťovík - Uteuša

Vysévá se na jaře až do poloviny června, pozvolna vzchází, prvním rokem se ne-sklízí. Druhým rokem rychle vyrůstá do výšky 1,5 až 2 m, koncem května je v plném květu. Po zaschnutí rostliny je v první polovině července možné zahájit sklizeň běžně dostupnou mechanizací. Z 1 ha lze spalováním šťovíku získat až 250 GJ.

## 2.10. Řepka ozimá

Za období 1980 - 1990 se zvýšila výroba řepky ozimé v ČSFR z 214 000 na 380 000 t, což představuje nárůst o více než 77 %. V posledních letech ji charakterizují pěšební údaje uvedené v tab. 2.7.



Obr. 2.4. Chrostice rákosovitá

Tab. 2.7. Sklizňové plochy, hektarové výnosy a celková sklizeň řepky olejné v České republice [2.1]

Hospodářský rok	Osavní plocha	Sklizňová plocha	Výnos (t/ha)	Produkce celkem (t)
1989/90 <sup>1)</sup>	102 526	102 376	3,06	313 253
1990/91	105 113	105 102	2,90	304 515
1991/92	127 773	126 890	2,74	348 292
1992/93	136 473	135 895	2,16	292 939
1993/94	167 423	166 995	2,26	377 233
1994/95	190 721	189 913	2,38	451 628
1995/96 <sup>2)</sup>	230 000	228 000	2,40	547 200

<sup>1)</sup> V ČR byl průměrný výnos 3,0 t·ha<sup>-1</sup>, v okrese Cheb 3,78 t·ha<sup>-1</sup>

<sup>2)</sup> odhad

Ve výrobní intenzitě jsme se řadili, vezmeme-li např. hektarové výnosy řepky v roce 1989, s výnosem 2,91 t·ha<sup>-1</sup> spolu s Nizozemím (3,23), SRN (3,07) a Francií (2,88) mezi nejpřednější země. V posledních letech však výnosy poklesly k hranici 2 t·ha<sup>-1</sup>.



Obr. 2.5. Křídlatka (druhy bohemica a japonica)

V roce 1992 činila v ČR plocha řepky ozimé 135 900 ha, tj. 4,3 % (plocha orné půdy k 30. 11. 1992 byla 3 130 000 ha), v roce 1996 228 000 ha, tj. 7,3 %.



Obr. 2.6. Křídlatka japonská



Obr. 2.7. Miscantus



Obr. 2.8. Topolovka

Po pokrytí potřeb potravinářského průmyslu by byl perspektivně celý přírůstek zdrojů řepky orientován na technické produkty. V roce 1991 poklesla spotřeba řepky v čs. potravinářském průmyslu (především z důvodů importu rostlinných olejů a snížení prodeje v maloobchodě) o téměř 140 000 t. V případě, že by potravinářský odběr tuzemské řepky dlouhodobě stagnoval na úrovni její současné spotřeby v tuzemském průmyslu, bude pro realizaci programu v ČR (rozšíření ploch řepky na 200 000 až 230 000 ha) k dispozici plocha kolem 130 000 ha pro výrobu technických produktů. To by odpovídalo např. výrobě asi 120 000 t bionafty, 13 000 t maziv, 265 000 t řepkových pokrutin a 10 000 t rafinovaného glycerinu. Podmínkou uplatnění přírůstku zdrojů řepkových pokrutin, které mohou nahradit část dovážených sojových pokrutin v krmných směsích, je orientace na „OO“ odrůdy řepky s nízkým obsahem glukosinulátů pod 35 mikromolů/g v semenu.

Technologie pěstování a sklizně řepky je propracována stejně dokonale jako u obilovin. Lisování oleje a výroba metylesteru jsou zvládnuty. Lisování slámy pro spalování je stejné jako u obilovin.

## 2.11. Rychlerostoucí dřeviny (r. r. d.)

Zakládání plantáží r. r. d. s krátkou obmýtní dobou se jeví jako účelný způsob k využití přebytečné zemědělské půdy.

V našich zemích lze nalézt určitou analogii v lesním hospodářství. Projevem extenzivního využívání lesů bez cílevědomé pěstební péče byly tzv. pařeziny, které známe již ze středověku. Vznikaly v hustě osídlených krajích se značnou spotřebou palivového a stavebního dříví. Při tomto způsobu obhospodařování lesů se využívá pařezové výmladnosti některých druhů listnatých dřevin, například vrby, dubů a akátů. V pařezinách bylo dříví pro topení, popřípadě tenké méně kvalitní sortimenty užitkového dříví, získáváno již ve 20. až 30. letech dvacátého století.

V současné době mohou být zkušenosti v lesním hospodářství uplatněny při využívání zemědělských půd k produkci biomasy pro energetické účely. Nejvhodnější pro tento účel jsou tzv. rychlerostoucí dřeviny. Bude však nutné hlouběji zpracovat technologii pěstování, ošetřování a zvláště pak vyvinout chybějící mechanizaci, zejména sklizňové stroje.

### 2.11.1. Klimatické a půdní podmínky pro rychlerostoucí dřeviny

Pěstování r. r. d. se uplatní zejména v oblastech s mírným podnebím a na půdách s dobrou zásobou vody a živin. V horších klimatických podmínkách není záruka výnosu a může dojít i k poškození mrazem. Nabízí se využití půdy v lokalitách ohrožených imisemi, kde je omezeno pěstování plodin pro potravinářské účely.



Obr. 2.9. Porost topolu

### 2.11.2. Požadavky a druhy dřevin pro pěstování na rychlerostoucích plantážích

V zájmu efektivnosti pěstování r. r. d. na orné půdě je třeba zajistit splnění zejména následujících požadavků:

- extrémně vysoký vzrůst rostlin v mládí,
- výborné obrůstací schopnosti pařezů po obmýti,
- snášenlivost konkurence bez regulovatelných zásahů,
- odolnost proti škůdcům a chorobám,
- uzpůsobený pozemek k mechanizačnímu zpracování,
- mocnost ornice min. 30 cm, opt. 70 cm,
- hodnota pH min. 5,5,
- vysoká hladina spodní vody (60 až 120 cm, nesmí klesnout pod 2 m).



Obr. 2.10. Porost topolu před sklizní

Z dřevin, které respektují uvedené podmínky, je nejznámější topol černý a balzámový (obr. 2.9, 2.10), popř. další topoly i jejich hybridy. Rovněž vrby přinášejí dobré výsledky (obr. 2.11, 2.12).

Z ostatních druhů, které jsou dosti přizpůsobivé, ale také méně výkonné, je možné jmenovat akát, olši, osiku i břízu. Všechny používané druhy a sorty jsou světlomilné, pěstování musí být vedeno v souladu s obmýtní dobou.

Obecně lze říci, že vytípení nejvýnosnější rostliny bude otázkou konkrétního stanoviště každé oblasti.



Obr. 2.11. Porost vrby

### 2.11.3. Výnosy

Výnosy hmoty z plantáží s různou obmýtní dobou ovlivňuje mnoho činitelů, z nichž nejvýznamnější jsou: stanoviště, druh rostliny, délka obmýtní, půdní podmínky, kvalita ošetřování, vodní režim.

Na nejvhodnějších stanovištích s příslušnými odrůdami může být dosaženo průměrného ročního přírůstku 10 až 15 t·ha<sup>-1</sup> sušiny. Reálně je však uvažovat v podmínkách ČR s výnosem 5 až 10 t·ha<sup>-1</sup> sušiny ročně.

## 2.12. Plodiny pro výrobu etanolu

Výroba kvasného alkoholu a jeho využití k pohonu motorových vozidel není žádnou novinkou. Pokusy nahradit benzin etanolem sahají v Evropě již do období let první světové války. V Československu se alkohol přidával do benzínu již ve 20. letech minulého století (systém Dravinol).

V poválečném období ovládla energetický trh paliv zcela jednoznačně ropa. Teprve při drastickém nárůstu její ceny, který se datuje od počátku 70. let, se národohospodářství a technologové znovu obraceli k využití etanolu jako paliva. Byly vypracovány národní programy využití přebytků farmářské produkce na výrobu etanolu v USA, v Brazílii se ambiciózní program PROALCOOL, založený na využití cukrové třtiny, stal jedním z pilířů tamější agrární politiky. Výroba etanolu z manioku je předmětem thajsko-japonského programu od počátku 80. let.

Základním problémem výroby etanolu je cena finálního výrobku. Lze očekávat, že ceny ropy se budou v budoucnu pohybovat na úrovni 20 až 30 USD za barel (asi 159 l). Zkušenosti z Brazílie ukazují, že za tamějších podmínek byla výroba palivového etanolu efektivní z ryze ekonomických hledisek pouze tehdy, přesahovala-li cena ropy 30 USD za barel. Problémem jsou především investice do technologických zařízení. Pokud tyto investice již byly vynaloženy, pak vlastní výrobní náklady jsou pokryty již při cenách 20 USD za barel ropy.

V předválečném Československu byly hlavními surovinami pro výrobu bioetanolu brambory a melasa.

V současnosti se většina lihu v ČR vyrábí z melasy (asi 90 %).

Při užití etanolu pro pohonné směsi by stoupl význam speciálně pěstovaných plodin, zejména obilovin a cukrovky. Přibližné hodnoty produkce etanolu pro jednotlivé plodiny udává tab. 2.8.

Tab. 2.8. Produkce etanolu pro jednotlivé plodiny [2.2]

Plodina	Výnosy alkoholu (t·ha <sup>-1</sup> )	Cena (Kč/t)	Produkce etanolu (t·ha <sup>-1</sup> )
pšenice ozimá (zrno)	370	5 až 6	1 850 až 2 220 (1,5 až 1,8)
cukrovka (bulvy)	80	35 až 45	2 800 až 3 600 (2,3 až 2,9)
brambory (hlízy)	100	20 až 30	2 000 až 3 000 (1,6 až 2,4)
topinambur (hlízy)	77	30	2 310 (1,9)
čirok cukrový (nadzemní část)	76	30	2 280 (1,8)
kukuřice (zrno)	386	3,4 až 4,5	1 312 až 1 737 (1,1 až 1,41)

### Literatura ke kap. 2

- [2.1] Zelená zpráva, MZE ČR, 2002.
- [2.2] KÁRA, J. a kol.: Kvantifikace a využití obnovitelných a druhotných zdrojů energie v zemědělství. Z-2299, VÚZT Praha, 1995, 143 s.
- [2.3] KÁRA, J. – HUTLA, P. – STRAŠIL, Z.: Technologické systémy pro využití biopaliv z energetických plodin. Z-2427, VÚZT Praha, 2003, 44 s.



# Úprava a zpracování biomasy pro energetické účely

Jako palivo lze využít tyto druhy biomasy (viz kap. 2.3):

- zbytky dřeva z lesnictví a dřevařského průmyslu (větvce, kůra, odpady z výroby odřezky, piliny, hobliny, třísky),
- zbytky ze zemědělské a potravinářské výroby (sláma, zvířecí exkrementy, odpady z potravinářské výroby),
- záměrně pěstované plodiny na zemědělské půdě (rychlerostoucí dřeviny, lignocelulózní plodiny, cukernaté a škrobnaté plodiny, olejnin).

Zpracováním biomasy lze získat tyto druhy biopaliv:

- pevná paliva (palivové dřevo, dřevní štěpka, pelety, brikety, kůra, piliny),
- kapalná paliva (metanol, etanol, oleje, pyrolýzní oleje),
- plynná paliva (bioplyn –  $\text{CH}_4$ , dřevoplyn –  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ , pyrolýzní plyn, syntézní plyn –  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ).

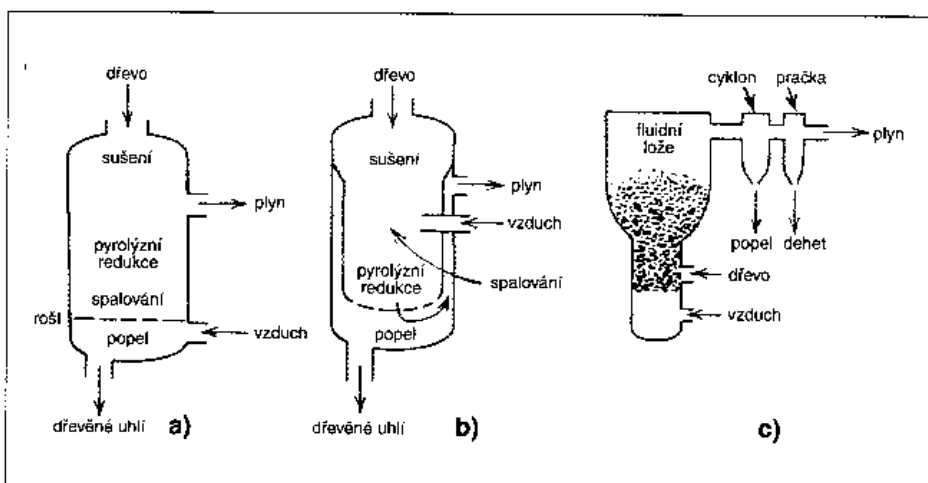
## 4.4. Tepelná přeměna biomasy

Termické procesy jsou zatím nejrozšířenějším energetickým využitím biomasy. Zabývat se budeme jen těmi hlavními. Tyto termické reakce mohou být, zejména pro laika, těžko rozlišitelné. Situace se zjednoduší, když si řekneme, že jsou skutečně velmi podobné a podstatný je výsledek, karbonizace (dřevěné uhlí), zplyňování (plyn), pyrolýza (pyrolýzní olej, plyn, popř. jiné produkty). Vesměs jde o suchou destilaci biomasy bez přístupu vzduchu či s minimálním přívodem vzduchu.

**Tab. 4.5.** Účinek teploty na výtěžek produktů olivových odpadů a březového dřeva [4.19]

TEPLOTA (°C)	800	1 000	800	1 000	800	1 000
výtěžek plynu (% hmotnosti „bvp“)	61,0	75,3	51,8	71,8	77,7	87,0
výtěžek dehtu (% hmotnosti „bvp“)	1,1	0,2	0,9	0,2	1,1	0,2
výtěžek uhlí (% hmotnosti „bvp“)	20,0	14,6	27,6	17,5	7,2	5,6
voda a ztráty	17,9	9,9	19,7	11,5	14,0	7,2
<b>Kombinace pomalé a rychlé pyrolýzy</b>						
výtěžek uhlí po celkové pyrolýze (% hmotnosti „bvp“)	17,1	13,4	18,3	14,9	5,5	5,0
těkavé sloučeniny při sekundární pomalé pyrolýze (% hmotnosti původního uhlí)	14,6	8,0	33,7	14,6	23,6	12,0
<b>Podmínky pomalé pyrolýzy</b>						
H <sub>2</sub> (vodík)	15,8	32,1	12,8	21,1	16,8	34,0
CH <sub>4</sub> (metan)	24,1	13,5	24,1	18,3	16,2	11,7
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (acetylen, etan)	3,9	0,3	3,4	0,5	6,2	0,5
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (etan)	0,7	0,1	0,9	0,2	0,3	pls
benzen	0,6	0,2	0,5	0,2	1,2	0,6
CO <sub>2</sub> (dioxid uhlíku)	15,7	8,6	18,2	12,3	8,3	7,5
CO (oxid uhlíku)	39,2	45,2	40,1	47,4	50,7	45,7

bvp – bez vody a popela, bv – bezvodý, pls – pod limitem stanovení, dč. – délka částic.



**Obr. 4.20.** Typy zplyňovačů na biomase (dřevo) [4.17]

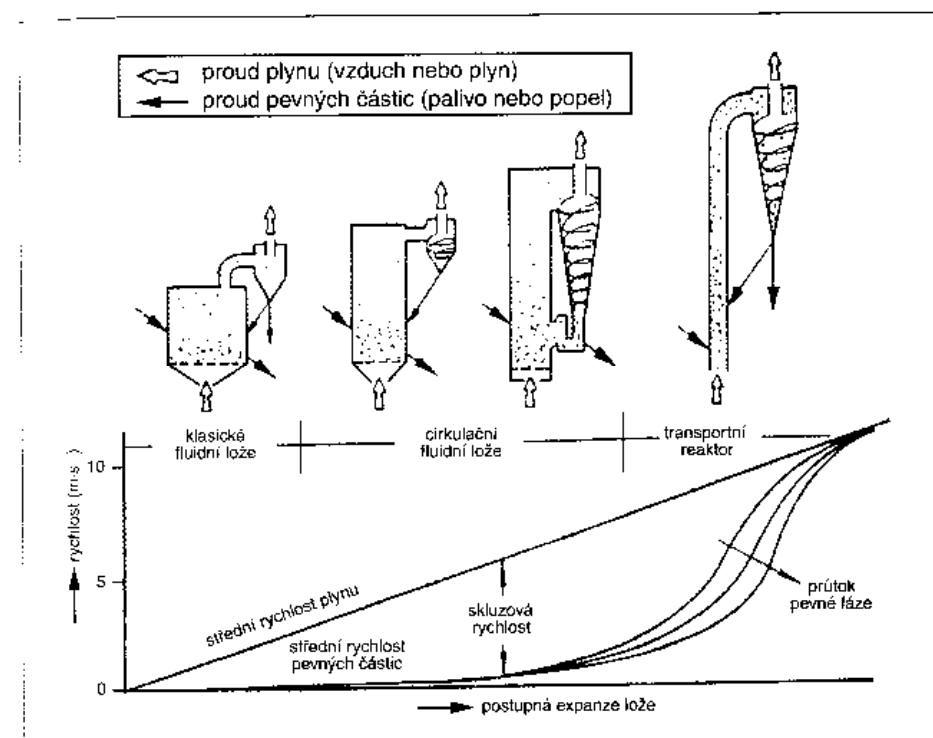
a) zplyňovač protiproudový, b) zplyňovač souproudový, c) fluidní zplyňovač

pneumatiky atd. Kombinace zpracování pěstované biomasy a odpadů v jednom zařízení při výrobě užitečných produktů je považována za perspektivní.

Zatím se však zkouší několik pilotních jednotek, jejichž provoz je velmi drahý. Jako příklad výsledků pyrolýzy je uvedeno zpracování olivových odpadů a březového dřeva (jde o laboratorní zařízení) v tab. 4.5.

#### 4.4.3. Zplyňování

Pro zplyňování je nejvhodnější palivové či odpadní dřevo získané při těžbě nebo v dřevozpracujících závodech, popř. sláma. Rozložit biomasu na plynné palivo je možné různými způsoby [4.17].



**Obr. 4.21.** Typy fluidních reaktorů [4.18]

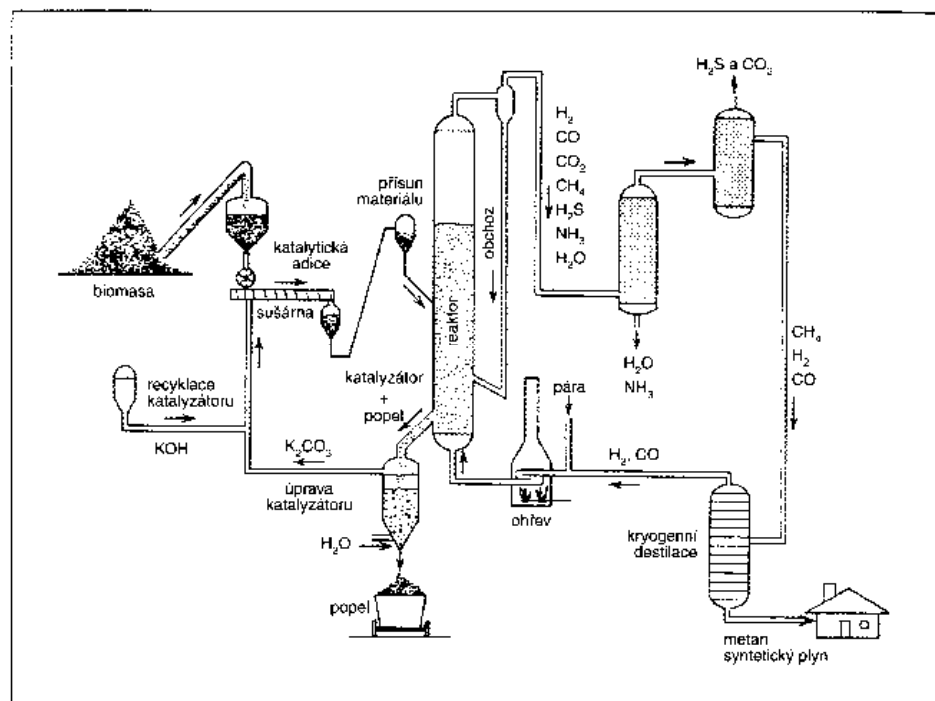
Většinou se dřevo zplyňuje za přístupu vzduchu. Zplyňování dřeva ve zplyňovači má následující průběh: **sušení** (sušicí zóna), **pyrolýza** (zóna pyrolýzy), **oxidace** (oxidační zóna), **redukce** (redukční zóna). Základní technologie zplyňování jsou protiproudá, souproudá a fluidní (obr. 4.20).

Protiproudý zplyňovač je levný, protože jeho konstrukce i funkce jsou jednoduché a navíc je schopen zplyňovat i materiál s vysokou relativní vlhkostí. Jeho nedostatkem je, že takto vyrobený plyn obsahuje více dehtu; to zabraňuje přímému využití v motorech. Plyn je nutné čistit.

Souprůdný (paralelní) zplyňovač má výpusť plynu na dně reakční nádoby a redukční zóna je pod spalovací (oxidační) zónou. Tyto dvě modifikace vedou k tomu, že dehet tvořící se v pyrolytické zóně musí projít horkou spalovací zónou dřeva, než opustí zplyňovač. Tak se dehet zúčastní spalování nebo se rozkládá na lehčí uhlovodíky, a proto je vycházející plyn v ideálním případě bez dehtu.

### Fluidní zplyňovač

Rozsah rychlostí pro danou granulometrii, který je úměrný rozsahu výkonů, je velmi široký. Pro každou granulometrii lze volit optimální hydrodynamický režim a lze zpracovávat odpad od typu pilin do typu štěpky, obr. 4.21 [4.18].



Obr. 4.22. Schéma katalytického zplyňování (syntézní plyn) [4.17]

Při zplyňování ve fluidním loži víří látka přiměřené granulometrie (2 až 20 mm) ve spodní části izotermního reaktoru účinkem předehřátého vzduchu, postupně účinkem vznikajícího plynu. Vhodným poměrem paliva ke vzduchu lze regulovat poměr exotermických (spalovacích) reakcí ( $C + O_2 = CO_2$ ) a endotermických (zplyňovacích) reakcí ( $C + H_2O = CO + H_2$ ,  $C + CO_2 = 2CO$ ) tak, aby proces probíhal bez přívodu energie zvenčí, tj. autotermicky. Obrázek 4.21 ukazuje několik typů zplyňovacích reaktorů, lišících se zejména rychlostí plynu.

Vzniklý plyn obsahuje především CO (25 %),  $H_2$  (20 %),  $CO_2$  (10 %),  $N_2$  (40 %) a zčásti  $CH_4$  – metan (3 %). Někdy udávaný rozklad vody na „vodní plyn“, podle rovnice

$C + H_2O = CO + H_2$ , nastává jen, dosáhne-li teplota ve vyvíječi plynu hodnot 1 100 až 1 200 °C. Z 1 kg dřeva se uvolní 1,5 až 2,0 m<sup>3</sup> dřevoplynu.

Abyste bylo možné získat plyn s výhřevností vyšší než 5 MJ·Nm<sup>-3</sup>, je třeba, aby vlhkost suroviny vstupující do reaktoru byla 15 až 20 %. Tento požadavek splňují pouze některé druhy dřevního odpadu, např. hobliny z nábytkářských výroben, mimořádně těž štěpky, které byly delší dobu uskladněny v krytém prostoru. Jiné druhy dřevního odpadu, jako piliny nebo čerstvě naštěpkované dřevo, tuto podmínku nesplňují a vyžadují sušení.

### Plazmové zplyňování

Za použití vyspělých technologií lze z biomasy vyrobit syntézní plyn, obr. 4.22 [4.17]. Toto řešení je zatím v poloprovozním ověřování, cena produktu je zatím relativně vysoká.

Generátor syntézního plynu je naplněn vrstvou koksu a zplyňovaným, zpravidla odpadním materiálem. S využitím plazmových hořáků je dosaženo velmi vysokých provozních teplot (větších než 2 000 °C). Při řízeném omezeném přístupu primárního vzduchu se vyvíjí syntézní plyn (směs  $CO$ ,  $H_2$  atd.), který je po úpravě využíván jako kvalitní plynné palivo. Jediným odpadem z uvedeného procesu je relativně malé množství popela.

Ekonomicky náročná technologie s ohledem na vysoké provozní teploty by mohla být řešením pro využití fytohmoty, dendromasy a především vedlejších živočišných produktů I. a II. kategorie podle nařízení EP a Rady EU č. 1774/2002. Zavedení technologie plazmového zplyňování v ČR nabízí firma s. r. o. Solena.

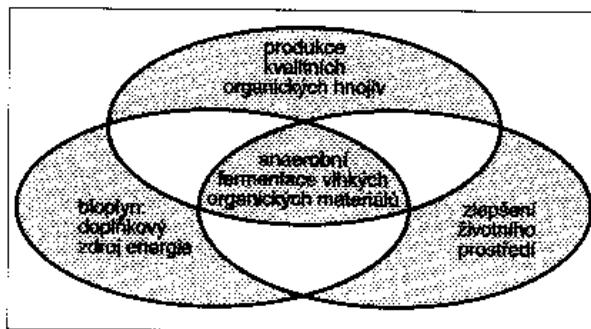
### Literatura ke kap. 4

- [4.1] ILAVSKÝ, J. – ORAVEC, M. – MAJER, E.: Využití lesní biomasy na energii. Zvolen, LVU 1991, s. 54.
- [4.2] ILAVSKÝ, J. – ORAVEC, M. – MAJER, E.: Využití lesní biomasy na energii. Zvolen, LVU 1992, s. 191.
- [4.3] SIMANOV, V.: Energetické využívání dříví. Olomouc, Terra polis 1995, s. 115.
- [4.4] SLADKÝ, V.: Příprava paliva z biomasy, 3/95. Praha, UVTIZ 1996, s. 50.
- [4.5] KÁRA, J. – ŠRÁMEK, V. – HUTLA, P. – STEJSKAL, F. – KOPNICKÁ, A.: Využití biomasy pro energetické účely. Praha, ČEA 1997, s. 157.
- [4.6] Firemní podklady TIMBERJACK Finland, <http://www.timberjack.com>.
- [4.7] HARMS, H. H.: Ernte und Aufbereitungstechnik von Halmgütern. In: Logistik bei der Nutzung biogener Festbrennstoffe. 30 – 31. 5. 1995, Stuttgart, Münster 1995, s. 23–40.
- [4.8] JOHANNING, B. a kol.: Stroh unter Druck. Agrartechnik, 5/96, s. 36–37.
- [4.9] SLADKÝ, V.: Příprava paliva z biomasy, 3/95. Praha, UVTIZ 1996, s. 50.
- [4.10] Firemní podklady DEUTZ FAHR.
- [4.11] Firemní podklady CLAAS.
- [4.12] MATTHIES, J.: Die Compactrollenpresse, Landtechnik, 5/91, s. 225–226.
- [4.13] KUTZBACH, H. D.: Halmgutverdichtung mit rotierendem Werkzeugen. Landtechnik 48, 1993, Nr. 5, s. 232–236.

# Anaerobní fermentace vlhkých organických materiálů

Zavádění nízkopotenciálních energetických zdrojů, mezi něž anaerobní fermentace vlhkých organických materiálů s jímáním bioplynu patří, může významně přispět k omezení plyných emisí z organických odpadů všeho druhu a jejich využití k energetickým účelům. Význam této technologie zpracování odpadů a vedlejších produktů na bioplyn a fermentovaný substrát využitelný k hnojivářským účelům a její aplikovatelnost na různé druhy materiálů jsou uvedeny na obr. 6.1. Při zpracování materiálů, které jeho „původce“ charakterizoval jako odpad, je třeba dodržovat legislativní ustanovení zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, ve znění pozdějších předpisů a všech prováděcích vyhlášek MŽP k tomuto zákonu vydaných a jejich inovací. Při uvádění vyfermentovaného substrátu na trh je nutné se řídit ustanoveními zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, ve znění zákona č. 308/2002 Sb. a všech souvisejících prováděcích vyhlášek MZe. V některých zemích EU je uplatňováno opatření, podle něhož je třeba postupně omezit, v krajním případě zcela vyloučit skládkování organických odpadů. Je třeba počítat s tím, že se během několika málo roků prosadí tento trend i u nás.

Protože dosavadní přístup k realizaci bioplynových stanic v různých místech republiky je odlišný, bude nanejvýš účelné záměr takovéto stavby konzultovat s místně příslušným stavebním úřadem a dalšími dotčenými úřady a institucemi ještě dříve, než budou zahájeny projektové práce.



Obr. 6.1. Význam anaerobní fermentace vlhkých organických materiálů

Jaké jsou hlavní důvody pro využití anaerobní fermentace organických materiálů v zemědělství, komunálním hospodářství a na venkově, které jsou příčinou zájmu o tuto již dlouho známou technologii?

Existují tři hlavní důvody pro využití anaerobní fermentace organických materiálů pocházejících ze zemědělství, lesnictví, komunálního hospodářství a venkovské krajiny (obr. 6.1).

## Produkce kvalitních organických hnojiv

Tento důvod je významný především pro zemědělské podniky. Pokud zpracovávají vlastní organický materiál a vyprodukované hnojivo využívají ve vlastním podniku a neuvádějí je na trh, nemusí se řídit legislativními ustanoveními zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, ve znění pozdějších předpisů ohledně povinnosti registrovat hnojiva uváděná na trh. To samozřejmě neplatí pro podnikatele, který soustřeďuje odpady, anaerobní fermentací je zpracovává a hnojivo uvádí na trh.

## Získání doplňkového zdroje energie

Nejvýhodnější variantou se jeví využití bioplynu pro své vlastní potřeby: buď přímo pro ohřev teplé užitkové vody, nebo lépe pomocí kogenerační jednotky k výrobě teplé užitkové vody a elektrické energie, příp. chladu. Využití médií pro vlastní potřebu je nejvýhodnější variantou ze všech možných, protože výkupní ceny zvláště elektrické energie dodávané do distribuční sítě jsou stále nízké, i když se situace zlepšila cenovým rozhodnutím Energetického regulačního úřadu, který stanovil minimální sazby výkupních cen elektřiny z obnovitelných zdrojů (pro bioplyn 2,50 Kč/kW·h<sub>e</sub>).

## Zlepšení pracovního a životního prostředí

Tento faktor bude mít stále větší motivační význam při rozhodování o výstavbě bioplynových stanic. Příčinou je stále se stupňující tlak „ekologické legislativy“, ať už se jedná o inovace zákona o odpadech, nebo zákon o IPPC neboli o integrované prevenci před znečištěním ovzduší a registraci znečišťovatelů. Návrh změn obou legislativních norem je v kompetenci MŽP.

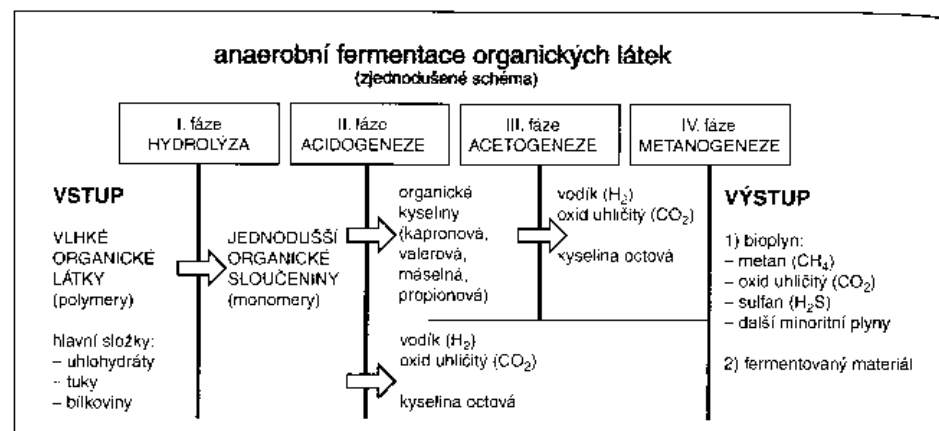
Energetické využití biomasy (včetně výroby bioplynu z ní) má příznivý vliv na omezení kumulace oxidu uhličitého v atmosféře. Při produkci biomasy je oxid uhličitý spotřebován při fotosyntéze a následně uvolněn při energetickém využití biomasy zpět do atmosféry. Tím se uzavírá časově krátký koloběh CO<sub>2</sub>.

## 6.1. Základní poznatky o bioplynu

### 6.1.1. Jak vzniká bioplyn [6.9, 6.10, 6.20, 6.26]

Biologický rozklad organických látek je složitý vícestupňový proces, na jehož konci působením metanogenních, acetotrofních a hydrogenotrofních mikroorganismů vzniká bioplyn, který se v ideálním případě skládá ze dvou plyných složek, metanu (CH<sub>4</sub>) a oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>). Průběh tohoto procesu ovlivňuje řada dalších procesních a materiálových parametrů, například složení materiálu, podíl vlhkosti, teplota prostředí, číslo pH neboli kyselost materiálu, anaerobní (bezokyslíkaté) prostředí, absence inhibičních biochemických látek atd.

Anaerobní mikroorganismy produkující metan (metanogeny) jsou považovány za jedny z nejstarších živých organismů na naší planetě. Kyslík i v sebemenší koncentraci je pro ně totéž jako prudký jed pro živé organismy. Jejich přizpůsobivost jim umožnila přežít i poté, co se v atmosféře Země začal objevovat kyslík. Těsná symbióza s jinými aerobními organismy, které jim zajišťují energii a anaerobní (bezokyslíkaté) prostředí, umožnila jejich přežití až do dnešní doby. Všudypřítomné metanogenní kultury proto v přírodě nalézáme zásadně ve směsných kulturách, nikoliv v čistém stavu.



Obr. 6.2. Schéma anaerobní fermentace

Biologický rozklad organických látek v anaerobních podmínkách je proces, který se nazývá metanová fermentace, metanové kvašení, anaerobní fermentace, anaerobní digestce, biogasifikace, biometanizace, biochemická konverze organické látky atd. Tento proces probíhá za určitých podmínek v přírodě samovolně nebo je vyvolán záměrně v biotechnických zařízeních. Výsledkem metanové fermentace je vždy směs plynů a fermentovaný zbytek organické látky. Pro tuto směs plynů, obsahující vždy dva majoritní plyny (metan CH<sub>4</sub> a oxid uhličitý CO<sub>2</sub>) a v případech v praxi početnou, avšak objemově zanedbatelnou řadu minoritních plynů, se ustálily různé názvy podle jejich původu nebo místa vzniku. Tak rozeznáváme:

1. Zemní plyn – vznikl anaerobním rozkladem biomasy nahromaděné v dálných do-  
bách; je energeticky nejhodnotnější, obsahuje 98 % metanu. Je klasifikován jako ne-  
obnovitelný zdroj energie.
2. Důlní plyn – původ jeho vzniku je obdobný jako u zemního plynu. Energetické vy-  
užití nemá, pro svoji výbušnost ve směsi se vzduchem, resp. kyslíkem, je velmi ne-  
bezpečnou příčinou důlních, ale i povrchových havárií.
3. Kalový plyn – vzniká anaerobním rozkladem organických usazenin v přírodních  
i umělých nádržích, uvolňuje se ze dna oceánů, moří, jezer, močálů, rybníků, které  
se pravidelně nečistí, ale vzniká i v biologickém stupni čistíren odpadních vod, rý-  
žovištích, rašeliníštích apod. Intenzita jeho vývinu i chemické složení jsou značně  
variabilní. Je to způsobeno variabilitou procesních podmínek, za kterých vzniká.
4. Skládkový plyn – většina skládek komunálního odpadu obsahuje 20 až 60 % orga-  
nických materiálů, ze kterých může za vhodných podmínek anaerobní fermentac

vznikat po mnoho let skládkový plyn s velmi proměnlivým složením. Jeho povrchové  
výrony jsou velmi nebezpečné, proto je žádoucí skládkové plyny získané při odply-  
nění skládek komunálního odpadu využít k energetickým účelům nebo likvidovat  
bezpečnostním hořákem.

5. Bioplyn – obecně lze tento název použít pro všechny druhy plyných směsí, kte-  
ré vznikly činností mikroorganismů. Tím je vyjádřeno, že všechny druhy bioplynů  
anaerobního původu vznikají principiálně stejným způsobem, ať probíhá metanogen-  
ní proces pod povrchem země, v zaživacím traktu živočichů, zvláště přežvýkavců,  
ve skládkách komunálních odpadů, v lagunách, nebo v řízených anaerobních reak-  
torech. V technické praxi se ustálil název bioplyn pro plynou směs vzniklou anaer-  
obní fermentací vlhkých organických látek v umělých technických zařízeních (re-  
aktorech, digestorech, lagunách se zařízením na jímání bioplynu atd.).

### 6.1.2. Co si představujeme pod pojmem „anaerobní fermentace“ [6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11, 6.12, 6.19, 6.26]

Jedná se o velmi složitý biochemický proces, který se skládá z mnoha dílčích, na  
sebe navazujících fyzikálních, fyzikálně-chemických a biologických procesů. Metano-  
geneze je pouze konečná fáze biochemické konverze biomasy v anaerobních podmín-  
kách na bioplyn a zbytkový fermentovaný materiál.

Pro snazší vysvětlení celého procesu použijeme velmi zjednodušené schéma anae-  
robní fermentace vlhkých organických materiálů (obr. 6.2) rozdělující proces do čtyř  
základních fází.

**I. fáze – HYDROLÝZA** – 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 bezkys-  
líkaté prostředí. Enzymatický rozklad mění polymery (polysacharidy, proteiny, lipidy  
atd.) na jednodušší organické látky (monomery).

**II. fáze – ACIDOGENEZE** – zpracováváný materiál může obsahovat ještě zbytky  
vzdušného kyslíku, v této fázi však dojde definitivně k vytvoření anaerobního (bezokys-  
líkatého) prostředí. Zajistí to četné kmeny fakultativních anaerobních mikroorganismů,  
které se aktivují v obou prostředích.

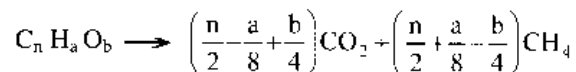
Vznik CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> a CH<sub>3</sub>COOH umožňuje metanogenním bakteriím tvorbu metanu. Kro-  
mě toho vznikají jednodušší organické látky (vyšší organické kyseliny, alkoholy).

**III. fáze – ACETOGENEZE** – je někdy označována jako mezifáze. Acidogenní spe-  
cializované kmeny bakterií transformují vyšší organické kyseliny na kyselinu octovou  
(CH<sub>3</sub>COOH), vodík (H<sub>2</sub>) a oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>).

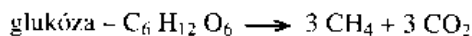
**IV. fáze – METANOGENEZE** – metanogenní acetotrofní bakterie rozkládají pře-  
devším kyselinu octovou (CH<sub>3</sub>COOH) na metan CH<sub>4</sub> a oxid uhličitý CO<sub>2</sub>, hydrogeno-  
trofní bakterie produkují metan CH<sub>4</sub> z vodíku H<sub>2</sub> a oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>. Určité kme-  
ny metanogenních bakterií se chovají jako obojetné.

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

Obecně pro rozklad uhlovodanů platí:

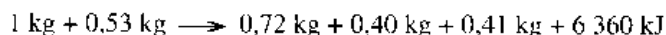


Zjednodušený popis metanového kvašení

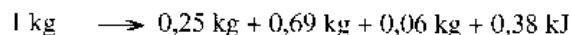
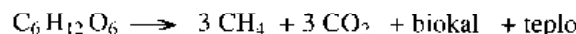


Rozdíl mezi anaerobním a aerobním procesem je zřejmý z modelového příkladu rozkladu glukózy:

**aerobní proces**



**anaerobní proces**



Při aerobním procesu zůstává významné množství stabilizovaného substrátu (např. kompost), který se intenzivně sám zahřívá.

V anaerobním procesu se odbourává velký podíl organické sušiny, materiál se sám zahřívá velmi málo, získáváme však bioplyn jako doplňkový zdroj energie.



**Obr. 6.3.** Kofermentační bioplynová stanice, plnění odpadní biomasou [6.11]

Podle složení substrátu se vytvářejí vhodné podmínky pro množení určitých kmenů bakterií způsobujících rozklad organické látky. Množství mikroorganismů odpovídá jejich růstové křivce, na ní lze sledovat 6 fází:

1. *Lagová fáze* – mikroorganismy se postupně adaptují na dané podmínky.
2. *Fáze zrychleného růstu* – částečně přizpůsobené mikroorganismy se začínají množit.
3. *Fáze exponenciálního růstu* – zcela přizpůsobené mikroorganismy se silně množí, protože mají dostatečné množství živin.
4. *Fáze zpomaleného růstu* – rychlost růstu mikroorganismů se zpomaluje.
5. *Stacionární fáze* – vlivem počínajícího nedostatku živin je počet vznikajících a umírajících mikroorganismů v rovnováze.
6. *Fáze poklesu* – absolutní nedostatek živin způsobuje postupné odumírání a rozklad mikroorganismů.

Pro urychlení náběhu fermentačního procesu se využívá očkovací látka (inokulum) z fermentoru v ustáleném provozním stavu nebo se používají sušené stimulatory obsahující metanogeny v inaktivovaném stavu.

### 6.1.3. Z jakých materiálů se bioplyn tvoří

Biomasa je obecný pojem pro materiál vhodný pro využití k energetickým účelům formou metanogenní fermentace. Za biomasu je v užším pojetí považována organická hmota rostlinného původu vznikající na bázi fotosyntetické konverze sluneční energie [6.7]. Pod pojmem biomasa si však můžeme představit substanci biologického původu, která zahrnuje rostlinnou biomasu (fytomasu) pěstovanou na půdě, hydroponicky nebo ve vodě, živočišnou biomasu, vedlejší organické produkty a organické odpady [6.8]. Bioplyn lze získávat ze všech druhů biomasy uvedených v kapitole 2.

U běžných organických substrátů podrobených metanogenní fermentaci se metan získává rozkladem polysacharidů, lipidů a proteinů. Při rozkladu jinak dobře rozložitelných proteinů (bílkovin) se do bioplynu uvolňují sirnaté složky (např. sulfan –  $H_2S$ ), které je před konečným využitím bioplynu nutné v některých případech odstranit. Rozkladem lipidů (tuků) je možné dosáhnout nejlepší výtěžnosti, bohužel jejich podíl ve fermentovaném materiálu nebývá vysoký. Rozklad polysacharidů zvláště obsažených ve fytomase bývá hlavním zdrojem látek pro tvorbu metanu. Jedna z hlavních stavebních látek fytomasy – lignin – je z hlediska metanogeneze balastním materiálem a tvorby metanu se téměř neúčastní, pokud není fyzikálně-chemickými procesy předem zpracována.

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

- Malý obsah anorganického podílu (popelovin).
- Organický materiál s vysokým podílem biologicky rozložitelných látek (zpravidla se zpracovávají homogenizované směsi materiálů – obr. 6.3, 6.4).



**Obr. 6.4.** Kofermentační bioplynová stanice, plnění odpadní biomasou [6.11]

- Optimální obsah sušiny pro zpracování pevných odpadů je 22 až 25 %, v případě tekutých odpadů 8 až 14 %. Tekuté odpady s obsahem sušiny menším než 3 % jsou zpracovávány anaerobní fermentací s negativní 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 až 5 %. Horní hranici optimálního obsahu sušiny tekutého odpadu tvoří vždy mez čerpatelnosti materiálu. Absolutní hranice obsahu sušiny, při kterém ještě probíhá anaerobní fermentace, je 50 %. Heterogenní vlhkostní pole v pevném organickém materiálu způsobuje, že provozu v praxi je metanogeneze tlumena postupně, a nikoliv rázově. To je velmi významný faktor, mající význam především při zpracování velkých objemů materiálů, jako například skládek komunálních odpadů.
- Významným faktorem ovlivňujícím metanogenní fermentaci je číslo pH (kyselost nebo zásaditost) materiálu. Za optimální hodnotu pH na vstupu do procesu se považuje interval blízký neutrální hodnotě  $\text{pH} = 7$  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 svoji aktivitou číslo pH substrátu až na neutrální hodnotu  $\text{pH} = 7$ . Některé kmeny metanogenů jsou schopny se rozvíjet i v silně alkalickém prostředí ( $\text{pH} = 8$  až 9). V praxi se hodnota pH materiálu na vstupu do procesu upravuje homogenizací směsných materiálů nebo alkalickými přísadami.
- Významným parametrem pro hodnocení vhodnosti materiálů pro anaerobní fermentaci je poměr uhlíkatých a dusíkatých látek. 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.

#### 6.1.5. Charakteristika bioplynu [6.1, 6.8, 6.9, 6.22]

Princip vzniku bioplynu je ve všech popisovaných případech (zemní plyn, důlní plyn, kalový plyn, skládkový plyn, reaktorový plyn) stejný. Jeho fyzikální a chemické vlastnosti však závisí na materiálových a procesních parametrech. V ideálním případě by bioplyn obsahoval pouze dva majoritní plyny, a to metan ( $\text{CH}_4$ ) a oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ). Obsah metanu se obvykle pohybuje od 50 do 75 %. V ideálním případě jej doplní 25 až 50 % oxidu uhličitého. V praxi je však surový bioplyn tvořen směsí dalších minoritních plynů, které mohou signalizovat přítomnost některých chemických prvků v materiálu nebo poruch průběhu anaerobní fermentace.

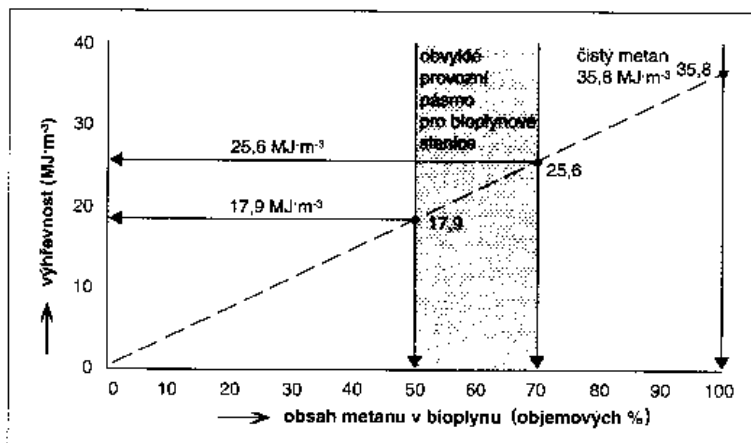
Tab. 6.2. Obsah sulfanu v bioplynu z různých odpadů [6.9]

Druh odpadu	Obsah sulfanu
črevní odpad, papír, celulóza, škrob, rostlinná hmota	do 80
kal z městských ČOV	50 až 300
živočišné odpady z chovu skotu	50 až 600
živočišné odpady z chovu vepřů nebo drůbeže, potravinářské odpady	500 až 6 000

Vysoký obsah oxidu uhličitého ( $\text{CO}_2$ ) znamená, že nebyly vytvořeny optimální podmínky pro anaerobní fermentaci. Přítomnost volného kyslíku ( $\text{O}_2$ ), s výjimkou počáteční fáze procesu, může být zapříčiněna zavzdušňováním pracovního prostoru. Tento stav je nežádoucí z bezpečnostního hlediska tvorby výbušné směsi metanu se vzdušným kyslíkem. V bioplynu se mohou objevit stopy argonu, který je vzdušného původu, amoniaku a oxidu dusného. V případě komunálního odpadu se mohou v bioplynu ze skládky objevit stopy dalších nežádoucích příměsí (například halogenuhlovodíků a jejich derivátů atd.). Objeví-li se v bioplynu stopy vodíku ( $\text{H}_2$ ), není to na závadu jeho energetické kvality, ale svědčí to o narušení rovnováhy mezi průběhem acidogenní a metanogenní fáze, způsobené nadměrnou zátěží reaktoru surovým materiálem, a nebo dochází z různých důvodů k inhibičním účinkům potlačujícím rozvoj metanogenních organismů. Stopy oxidu uhelnatého ( $\text{CO}$ ) mohou indikovat lokální vznik ložisek požáru při suché anaerobní fermentaci. Tato nebezpečná situace

Tab. 6.1. Poměr obsahu uhlíku a dusíku v některých materiálech

Materiál	Poměr obsahu uhlíku a dusíku
kůra	120 : 1
piliny	500 : 1
papír, karton	350 až 1 000 : 1
odpad z kuchyně	12 až 20 : 1
odpad ze zeleniny	13 : 1
posečená tráva	12 až 25 : 1
odpad ze zahrad	20 až 60 : 1
listí	30 až 60 : 1
dřevěné štěpky	100 až 150 : 1
drůbeží trus	10 : 1
močůvka	2 : 1
kejska skotu	10 : 1
sláma obilná	60 až 100 : 1

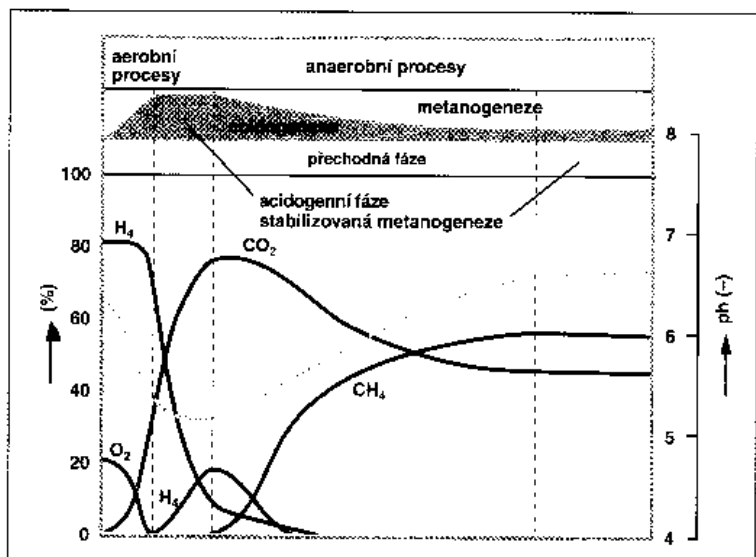


Obr. 6.5.  
Výhřevnost  
bioplynu  
v závislosti  
na obsahu  
metanu [6.8]

se vyskytuje především na skládkách komunálních odpadů, nikoliv v reaktorech. Velmi významným minoritním plynem v bioplynu je v některých případech sulfan ( $\text{H}_2\text{S}$ ), pocházející zpravidla z biochemických procesů při rozkladu proteinů (bílkovin). Obsah sulfanu ( $\text{H}_2\text{S}$ ) v bioplynu je velmi proměnlivý. Při zpracování exkrementů z chovu skotu je jeho obsah zanedbatelný, u exkrementů prasat a drůbeže je naopak velmi vysoký, což působí potíže při následném konečném využití bioplynu (tab. 6.2).

#### 6.1.6. Vlastnosti bioplynu a jeho složení (obr. 6.6)

**Výhřevnost:** Hodnota výhřevnosti bioplynu je určena majoritním obsahem metanu ( $\text{CH}_4$ ) (obr. 6.5). Ostatní minoritní plyny v bioplynu ( $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , ...) mají prakticky zanedbatelný energetický význam. Spalné teplo suchého bioplynu má hodnotu stejnou jako výhřevnost.



Obr. 6.6.  
Schéma změn  
složení bioplynu  
při náběhu  
anaerobního  
fermentačního  
procesu  
[6.4, 6.5, 6.6]

Tab. 6.3. Srovnání fyzikálních, chemických a spalovacích vlastností metanu a jiných plynů [6.23, 6.25]

plyn						
metan $\text{CH}_4$	0,7175	0,5549	39,819	35,883	2,003	9,561
etan $\text{C}_2\text{H}_6$	1,355	1,048	70,293	64,245	3,532	16,859
propan $\text{C}_3\text{H}_8$	2,011	1,555	101,242	93,215	5,106	24,372
butan $\text{C}_4\text{H}_{10}$	2,708	2,094	134,061	123,810	6,782	32,372
pentan $\text{C}_5\text{H}_{12}$	3,452	2,67	169,190	156,56,	8,574	40,926
vodík $\text{H}_2$	0,08988	0,0695	12,745	10,783	0,499	2,383
oxid uhelnatý $\text{CO}$	1,250	0,9667	12,633	12,633	0,500	2,386
oxid uhličitý $\text{CO}_2$	1,977	1,529				
kyslík $\text{O}_2$	1,429	1,105				
dusík $\text{N}_2$	1,2505	0,967				
vodní pára $\text{H}_2\text{O}$	0,804	0,66				
sulfan $\text{H}_2\text{S}$	1,54	1,191	22,8	22,8		
bioplyn 60 % $\text{CH}_4$	1,2	0,928	21,53	21,53		5,71

\*) hustota vzduchu je  $1,293 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  při teplotě  $0^\circ\text{C}$  a nadmořské výšce 0 m

**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  $750^\circ\text{C}$ . Velmi důležitá je hodnota *hustoty metanu a bioplynu s 60 % podílem  $\text{CH}_4$* . 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 narůstá termodifuze), klesá oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ) dolů.

Požárnětechnické charakteristiky a ostatní technické údaje a vlastnosti metanu jsou uvedeny podrobně v literatuře [6.23]. Každý projektant a informativně i uživatel by se s nimi měl seznámit.

#### 6.1.7. Základní technické údaje a vlastnosti metanu

(Požárnětechnická charakteristika – vyhl. MV č. 21/1996)

Tyto a další údaje a závislosti fyzikálních veličin metanu jsou podrobně uvedeny v literatuře [6.23, 6.24, 6.25].

1. Teplota vznícení	537 $^\circ\text{C}$
2. Teplotní třída	T1
3. Mez výbušnosti	4,4 až 17 % obj. 29 až $113 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$
4. Skupina výbušnosti	IIA
5. Mezní experimentální bezpečná spára	1,14 mm
6. Relativní hustota (ve vztahu ke vzduchu)	0,55
7. Výhřevnost objemová	$34,016 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$

(referenční teplota při spalování  $15^\circ\text{C}$ , referenční podmínky měření objemu  $15^\circ\text{C}$ , 101,325 kPa)



1. průměr molekuly	$4 \cdot 10^{-10} \text{ m}$
2. molární hmotnost	$16,043 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
3. relativní molekulová hmotnost	16,043
4. reálný molární objem	$22,3518 \text{ m}^3 \cdot \text{kmol}^{-1}$
5. hustota plynu ( $-161,52 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , tlak 101,325 kPa)	$1,819 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
6. hustota plynu ( $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , tlak 101,325 kPa)	$0,7049 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
7. kritický tlak	45,96 bar
8. kritická teplota	190,53 K
9. kritický měrný objem	$0,0061 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$
10. trojný bod	
teplota	90,68 K
tlak	0,117 bar
skupenské teplo tání	$58,720 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
11. bod varu	$-161,52 \text{ }^{\circ}\text{C}$
12. skupenské teplo varu ( $-161,52 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , tlak 101,325 kPa)	$510,20 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
13. množství plynu z $1 \text{ m}^3$ kapaliny ( $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 1 bar)	$630 \text{ m}^3$
14. výhřevnost (ref. teplota spal. $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , tlak 101,325 kPa)	
objemová	$34,016 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$
molární	$802,69 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
15. spalné teplo (ref. teplota spal. $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , tlak 101,325 kPa)	
objemové	$37,782 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$
molární	$891,56 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
16. měrná tepelná kapacita $c_p$ ideálního plynu	$2,195 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
17. měrná tepelná kapacita $c_v$ ideálního plynu	$1,686 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
18. poměr $c_p:c_v$ ideálního plynu ( $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , tlak 101,325 kPa)	1,301
19. mez výbušnosti směsi s kyslíkem	$555 \text{ }^{\circ}\text{C}$
20. minimální zápalná energie (vzduch + 8,5 % $\text{CH}_4$ )	0,28 mJ
21. koncentrace s největším nebezpečím vznícení	8,2 % obj.
22. teoretické množství spal. vzduchu (vzduch : reálný plyn)	$9,563 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} : 17,233 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$
23. stechiometrické spalování směsi s kyslíkem ( $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , tlak 101,325 kPa)	
teplota plamene	$2\,810 \text{ }^{\circ}\text{C}$
max. spal. rychlost	$3,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
24. stechiometrické spalování směsi se vzduchem ( $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 101,325 kPa)	
teplota plamene	$1\,957 \text{ }^{\circ}\text{C}$
max. spal. rychlost	$0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
25. Wobbeho číslo ideálního plynu ( $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , tlak 101,325 kPa)	$53,3781 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$
26. Wobbeho číslo reálného plynu ( $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , tlak 101,325 kPa)	$53,4568 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$

# Alternativní obnovitelná motorová paliva

## 7.1. Úvod

Vývoj vozidel a jejich motorového pohonu bude v budoucnosti více určován podle ekologických hledisek v důsledku stále přísnějších norem pro výfukové plyny. Dále také opatření zaměřená na snížení spotřeby a emise  $\text{CO}_2$  budou mít stále větší vliv na optimalizaci koncepcí vozidel a pohonu. S významně klesajícím vlivem emisí vozidel na imisní situaci a tím na kvalitu vzduchu se výhledově přesouvá rovnováha mezi emisemi klasických škodlivých výfukových plynů, jako je  $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$  a  $\text{NO}_x$ , a emisí  $\text{CO}_2$  ve směru rostoucí důležitosti  $\text{CO}_2$ . To především proto, že byl mezitím široce akceptován skleníkový efekt jako realita, ačkoliv objektivní důkaz stále ještě není plně k dispozici. Na automobilový průmysl je vyvíjen značný tlak, protože emise  $\text{CO}_2$  budou ve srovnání s trendy ostatních škodlivin až do roku 2010 stoupat.

Další důležitou částí v tomto obraze představuje rostoucí světová poptávka po motorových výkonech spotřebujících energii při současně se rýsujícím snižování disponibilních levných fosilních primárních nosičů energie, obzvláště ropy. Především přílišné zaměření se na ropu jako na primární nosič energie je značně riskantní pro budoucnost. Dopravní sektor EU vykazuje více než 30 % konečné spotřeby energie a stále se rozrůstá, přičemž jeho závislost na ropě dosahuje až 98 % [7.1]. Z hodnocení životního cyklu (LCA) podle normy ISO 14040-43 pro Volkswagen Golf [7.2] vyplynula 94% závislost na ropných produktech. Dlouhodobě zaručené zásobování nosiči energie pro individuální provoz, obzvláště na pozadí politické nestability ve zdrojových regionech, proto předpokládá vedle pokud možno maximálně úsporného zacházení s pohonnými hmotami středně a dlouhodobě diverzifikaci energetických zdrojů používaných na výrobu pohonných hmot, zvláště zahrnutí alternativních a obnovitelných zdrojů.

Nejvyšší účinnost jako individuální agregát k pohonu vozidla by měl mít z dnešního pohledu palivový článek na vodík [7.2, 7.3]. Předpokladem je ovšem dispozice vodíku.

Ke snížení emisí  $\text{CO}_2$  může vodík přispět jen tehdy, pokud se bude vyrábět regenerativně. Proti tomu však existují tři kritické technologické bariéry: pro mobilní používání chybí uspokojivě vyřešený vysokotlaký skladovací akumulátor, přijatelný pro

zákazníka, chybějící infrastruktura a chybí i ekonomicky únosná technologie pro regenerační výrobu vodíku. Protože až dosud není k dispozici pro žádnou z těchto bariér propracovanější technologický náznak řešení, může vodík představovat jen dlouhodobé řešení.

Tři podstatné požadavky na motorová paliva v budoucnosti

- ▷ zaručené zajištění dodávek,
  - ▷ celková ekonomická únosnost,
  - ▷ zohlednění požadavků na ochranu prostředí a klimatu
- nemůže dnes žádný jednotlivý nosič energie, ani vodík splnit.

Zvýšené zajištění dodávek by mohlo být dosaženo náhradou ropy tekutými palivy na základě zemního plynu nebo typy na bázi uhlí. Ovšem předpokládané globální oteplování vyžaduje vhodnou energetickou strategii, která používá i obnovitelné zdroje a má tudíž nejvyšší prioritu. V současnosti jsou biopaliva výbornou a reálnou alternativou, neboť jsou prakticky z domácích zdrojů, oxid uhličitý je neutrální. Mohou být za stanovených podmínek využita ve stávajících vozidlech a distribučním systému a tudíž nevyžadují nákladné investice do infrastruktury. Daňové stimuly a podpory nepotravinářského využití biomasy by měly zajistit efektivní způsob vývoje výroby biopaliv tím, že omezí rozdíly ve výrobních nákladech ve srovnání s fosilními palivy.

## 7.2. Základní koncepce rozvoje alternativních obnovitelných motorových paliv

Bílá kniha Komise Evropská dopravní politika pro r. 2010: čas rozhodnutí [7.4] očekává zvýšení emisí  $\text{CO}_2$  z dopravy o 50 % mezi roky 1990 a 2010 na celkem 1 113 milionů tun, hlavní zodpovědnost je na silniční dopravě, která přispívá 84 % emisí  $\text{CO}_2$ . Z ekologického hlediska tedy tato Bílá kniha žádá snížení závislosti dopravního sektoru na ropě používáním alternativních paliv, jako jsou biopaliva.

Zvýšení používání biopaliv pro dopravu bez vyloučení dalších možných alternativních paliv je jedním z nástrojů, kterými může Společenství omezovat svoji závislost na dovážené energii a ovlivňovat palivový trh pro dopravu, a tudíž zabezpečit dodávku energie ve střednědobém a dlouhodobém období. Ovšem tato úvaha nesnižuje žádným způsobem důležitost souladu s legislativou Společenství týkající se kvality paliva, emisí dopravních prostředků a kvality ovzduší.

Zajištění používání biopaliv v dopravě je krokem směrem k širší aplikaci biomasy, který umožní extenzivnější vývoj biopaliva v budoucnosti, přičemž nejsou vyloučeny další možnosti, zejména vodíková možnost.

Zajištění používání biopaliv pro stále udržitelné zemědělství a lesnictví, jak je stanoveno v pravidlech určujících společnou zemědělskou politiku, by mohlo vytvořit nové příležitosti pro udržitelný rozvoj venkova ve více na evropský trh orientované společné zemědělské politice a respektující vzkvétající venkovský život a mnohofunkční zemědělství a mohlo by otevřít nové trhy pro inovované zemědělské produkty s ohledem na současné a budoucí členské státy.

Nové typy paliva by měly být v souladu s technickými normami, budou-li používány ve větším rozsahu zákazníky a výrobci motorových vozidel, a tudíž proniknou na trh. Technické normy také vytvářejí základnu pro požadavky týkající se emisí a sledování

emisi. S těžkostmi je možné se setkat při zajišťování, aby nové typy paliva splňovaly současné technické normy, které ve větším rozsahu byly vyvinuty pro konvenční fosilní paliva. Komise a standardizační orgány by měly sledovat vývoj a přijmout a vyvinout normy, zejména s ohledem na těkavost, což by umožnilo zavedení nových typů paliva, přičemž by byly dodrženy požadavky na ochranu životního prostředí.

Vzhledem k výše uvedenému i dalším aspektům a skutečnostem přijal Evropský parlament a Rada evropské unie 8. 5. 2003 směrnici 2003/30/EC, o zajištění používání biopaliv nebo dalších obnovitelných paliv pro dopravu [7.1]. K tomu byly zpracovány základní možnosti voleb, zahrnující zvýšení účinnosti paliva pro motory dopravních prostředků, biopaliva, zemní plyn, vodík, elektrická vozidla, hybridní vozidla, metanol a dimethyléter, naftu ze zemního plynu, stlačené zemní plyny (CNG), zkapalněné ropné plyny (LPG), a ty posouzeny podle cen, způsobu doplňování (tankování) paliva, investice do infrastruktury, vlivu na životní prostředí a zajištění dodávek (logistiky). Hodnocení s ohledem na možnosti volby s potenciálem dalších 20 let vyjadřuje následující podíl biopaliv a dalších alternativních paliv (%) na celkové spotřebě v dopravě (tab. 7.1).

**Tab. 7.1.** Plán podílu (%) alternativních paliv na spotřebě motorových paliv v EU

rok	biopaliva	bioplyn	biometanol	biometyléter
2005	2	—	—	2
2010	6	2	—	8
2015	7	5	2	14
2020	8	10	5	23

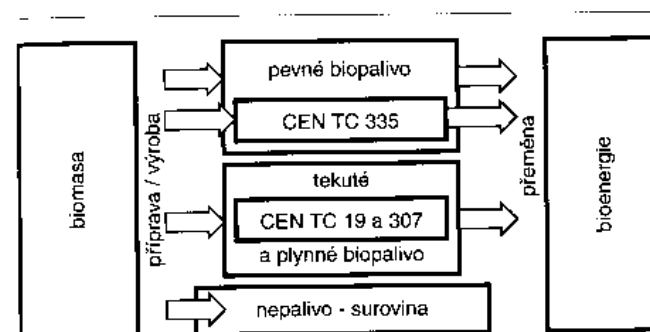
Současné byl také stanoven rozpis indikativního podílu biopaliv z celkového množství prodaných motorových paliv: 2005 – 2 %, 2006 – 2,75 %, 2007 – 3,5 %, 2008 – 4,25 %, 2009 – 5 %, 2010 – 5,75 %. Biopaliva mohou být používána jako čistá, smíchaná s deriváty minerálních olejů, kapaliny z nich odvozené, jako je například ETBE (etyl-tercio-butyl-éter jako éterovaný bioetanol).

### 7.2.1. Definice a vymezení pojmů

V souladu s platnou legislativou [7.1, 7.5] jsou použity tyto pojmy a definice:

a) *biopalivo* je kapalné nebo plynné palivo pro dopravu, vyrobené z biomasy;

- b) *biomasa* je biologicky odbouratelná část produktů, odpadu a zbytků ze zemědělství (včetně rostlinných a živočišných substancí), lesnictví a příbuzných průmyslových odvětví, jakož i biologicky odbouratelná část průmyslového a městského odpadu;
- c) *ostatní obnovitelná paliva* jsou obnovitelná paliva jiná než biopaliva, která vznikají ze zdrojů obnovitelné energie, jak je definováno ve směrnici [7.5], a jsou používána pro účely dopravy;
- d) *obsah energie* je výhřevnost paliva. Je účelné ji vyjádřit v jednotkách *tuna ropného ekvivalentu* (toe), kde 1 toe = 41.868 GJ = 11,63 MW·h. Přepočítávací faktory podle Mezinárodní agentury pro energii (IEA) a OECD uvádí tab. 7.2.



**Obr. 7.1.** Záměry v oblasti biomasa – biopalivo

Za biopaliva jsou pokládány tyto produkty [7.1]:

- a) *bioetanol* – etanol vyráběný z biomasy a/nebo biologicky odbouratelná část odpadu používaná jako biopalivo, ve vyhlášce č. 229/2004 [7.6] je uveden pojem *bioetylalkohol*;
- b) *bionafta* – metylester vyráběný z rostlinného nebo živočišného oleje, stejné kvality jako nafta, používaný jako biopalivo;
- c) *bioplyn* – palivový plyn vyráběný z biomasy a/nebo z biologicky odbouratelné části odpadu, který může být vyčištěn do kvality zemního plynu, používaný jako biopalivo nebo dřevní plyn;
- d) *biometanol* – metanol vyráběný z biomasy, používaný jako biopalivo;
- e) *biodimethyléter* – dimethyléter vyráběný z biomasy, používaný jako biopalivo;
- f) *bio-ETBE (etyl-tercio-butyl-éter)* – ETBE vyráběný na bázi bioetanolu. Podíl objemu bio-ETBE, který je pokládán za biopalivo, je 47 %;
- g) *bio-MTBE (metyl-tercio-butyl-éter)* – palivo vyráběné na bázi biometanolu. Podíl objemu bio-MTBE, který je pokládán za biopalivo, je 36 %;
- h) *syntetická biopaliva* – syntetické uhlovodany nebo směsi syntetických uhlovodanů, které byly vyrobeny z biomasy;
- i) *biovodík* – vodík vyrobený z biomasy a/nebo biologicky odbouratelné části odpadu, používaný jako biopalivo;
- j) *čistý rostlinný olej* – olej vyrobený z olejových plodin lisováním, extrakcí nebo srovnatelnými postupy, nezpracovaný nebo rafinovaný, avšak chemicky nezměněný, je-li kompatibilní s typem motoru, pro který je použit, a s odpovídajícími emisními požadavky.

**Tab. 7.2.** Přepočítávací faktory

motorový benzin	1,070 ktoe·kt <sup>-1</sup>
motorová nafta/plynový olej	1,035 ktoe·kt <sup>-1</sup>
těžký topný olej	0,960 ktoe·kt <sup>-1</sup>
zkapalněné ropné plyny (LPG)	1,130 ktoe·kt <sup>-1</sup>
zemní plyn	0,917 ktoe·kt <sup>-1</sup>
bionafta – metylestery mastných kyselin	0,812 ktoe·kt <sup>-1</sup>
bioetanol – bioetylalkohol	0,600 ktoe·kt <sup>-1</sup>

### 7.5.2. Bioetanol jako motorové palivo

Výroba etanolu ze škrobu a cukru je již dlouho známá a vyzrálá technologie. Příprava suroviny, fermentace, destilace, rektifikace a odvodnění dnes dosáhly velmi vysoké úrovně vývoje a možnosti pro další stěžejní vývoj se jeví jako omezené. Přesto existuje ještě značný optimalizační potenciál v dílčích oblastech produkce bioetanolu. Obzvláště v oblasti fermentace je třeba dalšího výzkumu k vylepšení výtěžnosti, procesní kontroly a rovněž zpracování a upotřebení zde vznikajícího  $\text{CO}_2$ . Neméně důležitou oblastí je čištění plynu při sušení odpadů.

Těžiště mezinárodních snah výzkumu a vývoje ale nyní spočívá ve vývoji způsobu výroby bioetanolu ze surovin obsahujících lignocelulózu. Na jedné straně existuje velké očekávání ve vývoji postupů produkce etanolu z celulózy, na druhé straně jsou také kriticky posuzovány krátkodobé a střednědobé vyhlídky na úspěch [7.12].

Průměrné hodnoty spotřeby vybrané biomasy na produkci 100 l bioetanolu uvádí tab. 7.24 [7.12]. Aktuální výnosy závisí na kvalitě technologického procesu a kvalitě suroviny.

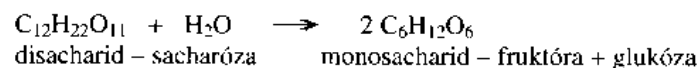
**Tab. 7.24.** Náklady na výrobu a ceny řepkových metylesterů výrobců s porovnáním nákladů na zpracování (1 EUR = 32 Kč)

řepka olejka	7 500 až 8 500 Kč·t <sup>-1</sup> 234 až 266 EUR·t <sup>-1</sup>	181,51 (186,62) až 232,64 (237,75) EUR·t <sup>-1</sup>
doprava	100 až 300 Kč·t <sup>-1</sup> 3 až 10 EUR·t <sup>-1</sup>	20,45 EUR·t <sup>-1</sup>
zpracování v olejárně	1 000 Kč·t <sup>-1</sup> 31,25 EUR·t <sup>-1</sup>	35,53 EUR·t <sup>-1</sup>
pokrutiny (šrot)	4 300 až 4 500 Kč·t <sup>-1</sup> 134 až 141 EUR·t <sup>-1</sup>	104,8 až 123,99 EUR·t <sup>-1</sup>
reesterifikace	3 000 Kč·t <sup>-1</sup> FAME 93,75 EUR·t <sup>-1</sup>	68 až 102 EUR·t <sup>-1</sup>
ceny řepkových metylesterů u výrobců	20 až 22 Kč·l <sup>-1</sup> 0,625 až 0,688 EUR·l <sup>-1</sup>	0,509 až 0,637 EUR·t <sup>-1</sup>

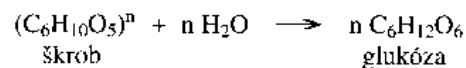
<sup>1)</sup> zdroj: [7.8]

<sup>2)</sup> zdroj: [7.44]

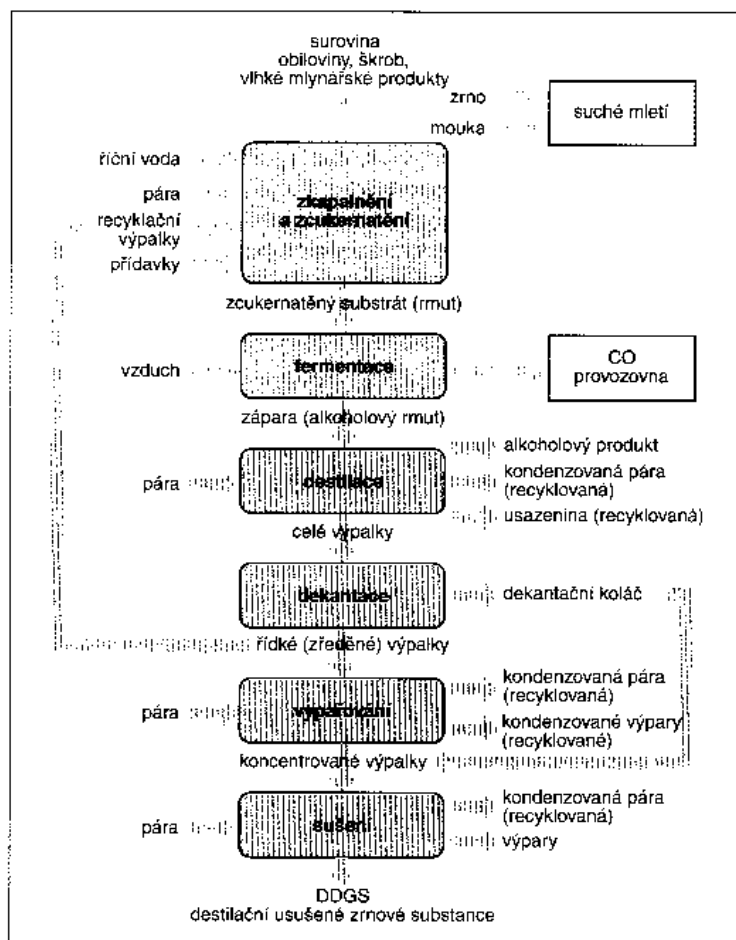
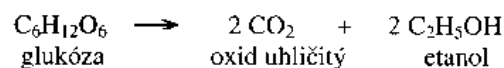
Přeměnou sacharózy z cukrové řepy v souladu s rovnicí vznikají jednoduché cukry:



Ze škrobnatých surovin, zejména zrnin a brambor, se škrob nejdříve zmazovává a poté řízeným chemickým procesem za přítomnosti enzymů v souladu s následující rovnicí vzniká glukóza:



Pro výrobu alkoholu z glukózy má majoritní chemická rovnice tvar:



**Obr. 7.16.**  
Blokové schéma výroby bioetanolu z obilovin (zdroj: Vogelbusch)

Blokové schéma technologického procesu výroby etanolu z obilovin [7.46] uvádí obr. 7.16.

Přestože je nejvýnosnější plodinou k výrobě kvasného lihu v našich podmínkách cukrovka, z mnoha důvodů, mezi které patří také vznikající přebytky, relativní agro-technická nenáročnost, zavedená technologie sklízně a skladování, dává se přednost obilovinám. Předpokládá se pěstování hustě setých obilovin, vhodných odrůd, s těmito základními požadavky na kvalitu [7.47]:

- objemová hmotnost min. 730 g·l<sup>-1</sup>,
  - obsah škrobu v sušině min. 61 %,
  - číslo poklesu max. 150 s (sleduje se doba „pádu“ tělíska zmazovatělným škrobem).
- Číslem poklesu se hodnotí kvalita mouky. Z měření lze vyhodnotit kvalitu škrobu a aktivitu amyláz.

Ztekucování a zcukřování škrobu se provádí jak kontinuálně, tak šaržově za různých teplotních režimů – do 100 °C i při 105 až 120 °C. Progresivní metody jsou současné zcukřování a fermentace (SSF) a současné zcukřování, propagace kvasinek a fermentace (SSYPF).

Etanol se získává destilačním dělením prokvašeného díla, kde se vyskytuje v koncentraci pohybující se v intervalu 6 až 14 %. V prokvašeném dílu jsou kromě čistého etanolu ještě obsaženy látky vznikající v průběhu fermentace, a to: glycerin, vyšší alkoholy a jejich oxidační produkty, jakož i reakční produkty etanolu – aldehydy, kyseliny a estery. Celkové množství těchto vedlejších frakcí není vyšší než 1 % obsahu etanolu, problémem však je jejich obtížné oddělení od směsi, ve které dominuje etanol a voda. Všechny zmíněné látky se z hlediska destilačního dělení odlišují relativní těkavostí (poměr tenze páry dělené látky a tenze páry referenční složky – etanolu) na látky lehčí, střední a těžší a způsob jejich oddělení je dobře znám. V případě kvasného lihu používáme termín úkapy pro lehčí frakce, které obsahují metanol, estery, kyseliny a aldehydy, a dokapy pro těžší frakce, obsahující stejné látky jako úkapy, ale v jiném poměru a menší podíl směsi vyšších alkoholů. Nejtěžší frakce, zvaná přiboudlina, je směsí obsahující nejvíce amylalkoholů (79 %), izobutanol (16 %), *n*-propanol (4 %) a menší podíly terpenů a terpenalkoholů, volných kyselin a izomerů již zmíněných vyšších alkoholů. Technologie výroby potravinářského a farmaceutického lihu a bioetanolu se liší uspořádáním procesu destilace, rafinace a dehydratace v tom, že některé skupiny látek se v případě výroby bioetanolu neodstraňují a některé se odstraňují jen proto, aby bylo možné uskutečnit proces dehydratace [7.48].

**Tab. 7.25.** Průměrné výtěžnosti bioetanolu z vhodné zemědělské produkce a biologických zbytků zpracovatelských závodů [7.12]

syrovátka	4 000 l	melasa	360 kg
cukrová třtina	1 181 kg	pšenice	260 kg
cukrová řepa	932 kg	kukuřice	268 kg mokrý způsob 258 kg suchý způsob
brambory	1 211 kg	žito	241 kg
dřevo	385 kg	triticale	251 kg