



Agronomická
fakulta



Anaerobní fermentace

Mendelova
univerzita
v Brně



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Cíle

- Cílem kapitoly je studenty seznámit s procesy, které jsou spjaty s produkcí bioplynu a také parametry, které mohou tento proces ovlivnit.

Klíčová slova

- Metanogeneze, bioplyn, mikroorganismy

1. Úvod

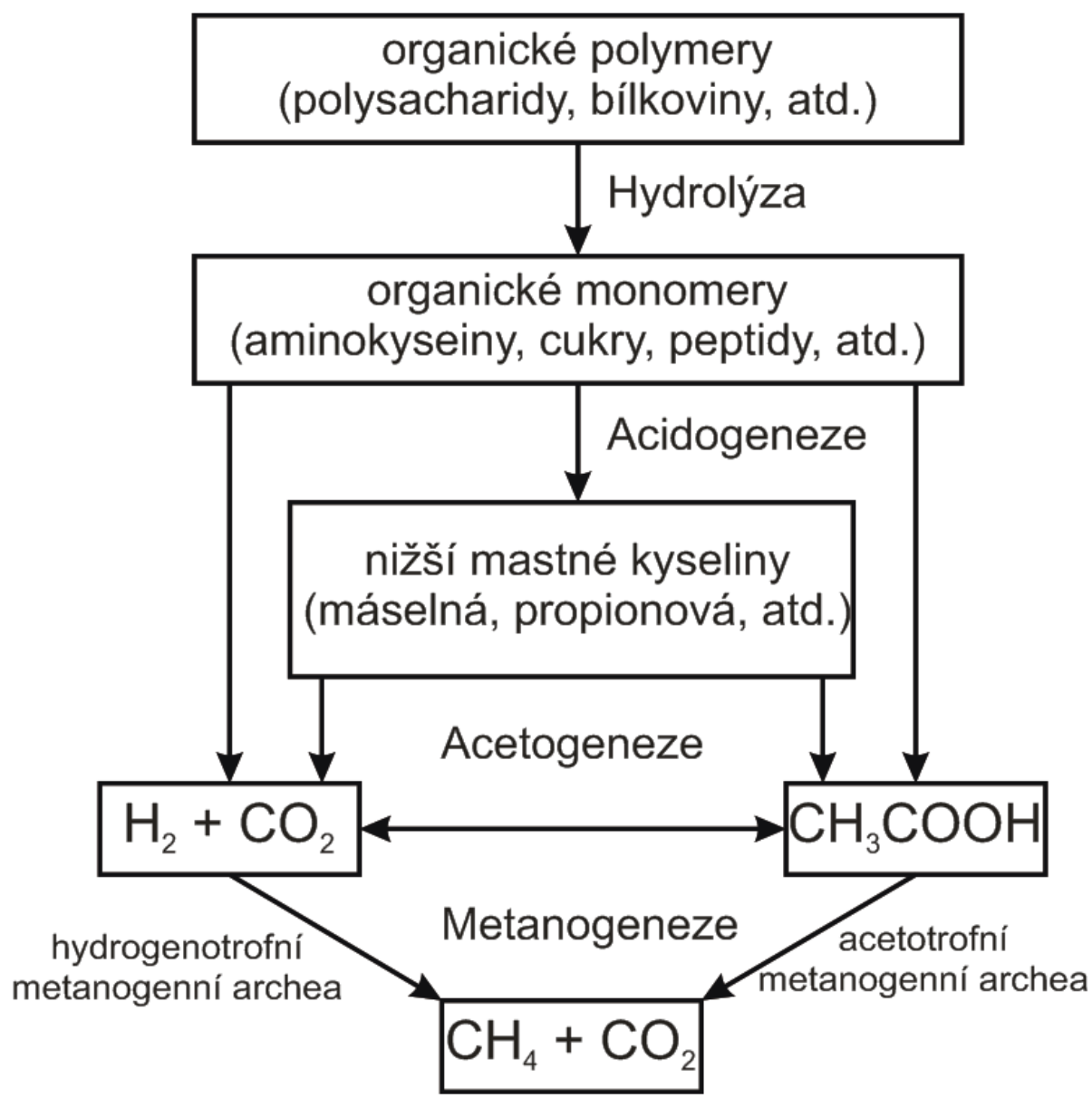
Proces anaerobní fermentace je složitý biochemický proces, při kterém dochází v několika na sebe navazujících krocích, hydrolýze, acidogenezi, acetogenezi a metanogenezi díky činnosti mikroorganismů, k rozkladu organických látek obsažených ve vstupních surovinách. Meziprodukty jednotlivých skupin mikroorganismů v jednotlivých krocích jsou spotřebovávány v dalších krocích vzniku bioplynu mikroorganismy jinými. Absence jedné skupiny mikroorganismů může mít negativní dopad na průběh procesu jako celku.

1. Úvod

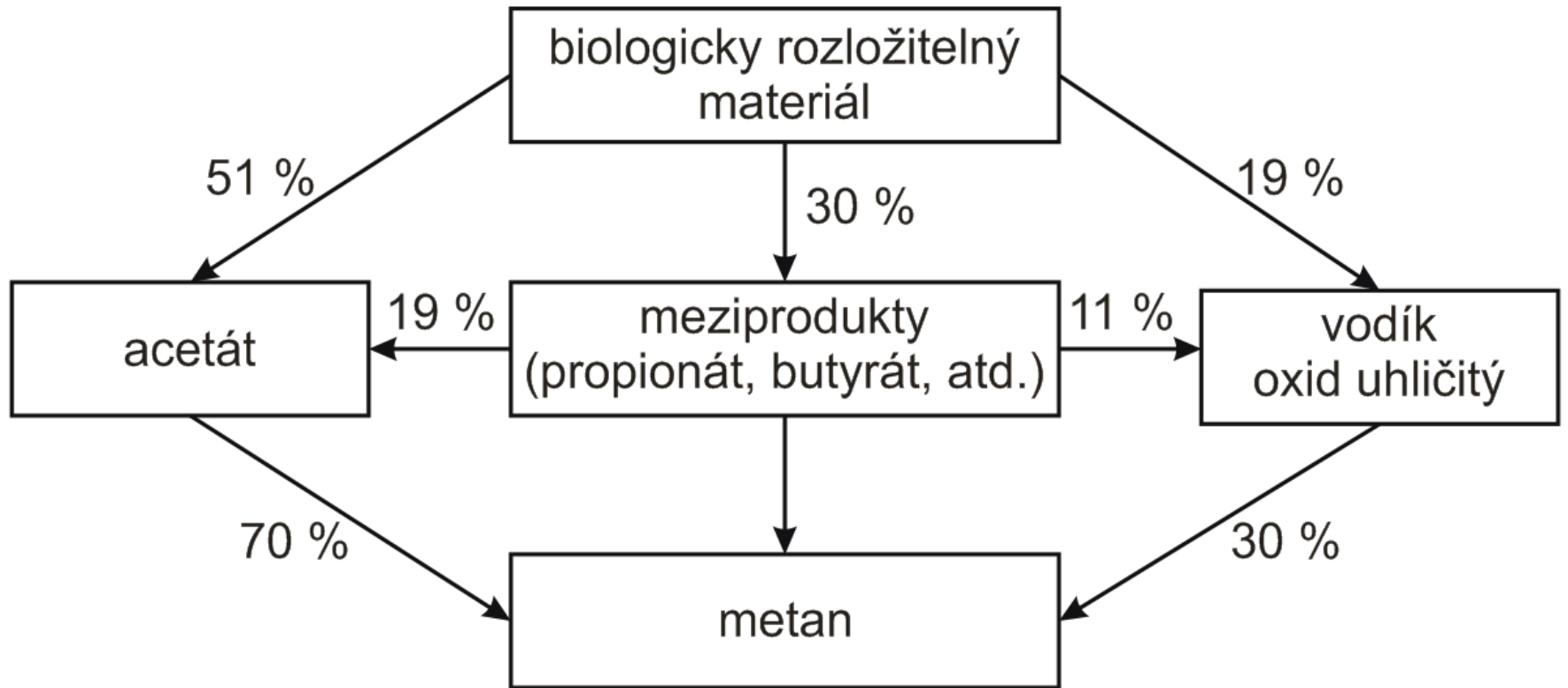
Mikrobiální diverzita v bioplynových fermentorech je stejně rozsáhlá jako mikrobiální diverzita v trávicím traktu přežvýkavců, kde bylo identifikováno sedmnáct základních kmenů anaerobních mikroorganismů. Tyto mikroorganismy hrají zásadní roli při výrobě bioplynu. Důležitou roli v tom, které z kmenů anaerobních mikroorganismů budou přítomny ve fermentoru, samozřejmě sehrává povaha vstupního materiálu, který má být zpracováván v bioplynové stanici. Druh vstupního materiálu určuje, zdali budou ve fermentoru převládat proteolytické mikroorganismy nebo amylolytické mikroorganismy.

1. Úvod

Mezi nejčastěji se vyskytující druhy anaerobních mikroorganismů ve fermentorech bioplynových stanic patří *Bacteroides succinogens*, *Butyrivibrio fibrisolvens*, *Clostridium cellobioparum*, *Ruminococcus albus*, *Ruminococcus flavefaciens*, *Eubacterium cellosolvens*, *Clostridium cellosolvens*, *Clostridium cellulovorans*, *Clostridium thermocellum*, *Bacteroides cellosolvens* a *Acetivibrio cellulolyticus*. Je nutné si uvědomit, že existuje jasný rozdíl v druzích celulolytických mikroorganismů přítomných v trávicím traktu přežvýkavců a v bioplynové stanici. Zatímco v trávicím traktu přežvýkavců představovali zástupci rodu *Ruminococcus* sp. 60 % z celkového počtu kolonií, ve fermentoru bioplynové stanice převládaly rody *Bacteroides* a *Clostridium*.



Znázornění rozkladu organického materiálu na bioplyn



Koloběh uhlíku v anaerobním prostředí s aktivními metanogenními archea

1. Úvod

1.1 Hydrolýza

Hydrolýza je první fází v procesu výroby bioplynu. Proces hydrolýzy představuje několik postupných kroků zahrnujících produkci enzymů, difúzi, adsorpci. V průběhu hydrolýzy jsou polymerní látky, polysacharidy, tuky a bílkoviny štěpeny extracelulárními enzymy na monomerní látky, kterými jsou aminokyseliny, monosacharidy, mastné kyseliny a některé alkoholy. V následující tabulce jsou uvedeny příklady některých skupin extracelulárních enzymů.

Enzym	Substrát	Produkt
Proteináza	bílkoviny	aminokyseliny
Celuláza	celulóza	celobióza a glukóza
Hemiceluláza	hemicelulóza	cukry - xylóza, manóza, arabinóza
Amyláza	škrob	glukóza
Lipáza	tuky	masné kyseliny a glycerol
Pektináza	pektin	cukry - galaktóza, arabinóza

Vybrané skupiny extracelulárních enzymů a jejich funkce

1. Úvod

1.1 Hydrolýza

Rychlost rozkladu v průběhu hydrolýzy závisí do značné míry na povaze vstupního materiálu, velikosti, tvaru, povrchu, produkci enzymů a adsorbci. Rozklad materiálu, který obsahuje polysacharidy (celulózu, hemicelulózu, škrob) je mnohem pomalejší, než rozklad materiálů obsahujících bílkoviny a tuky. Různí autoři ve svých pracích potvrdili, že adsorpce enzymů na inertní vstupní materiál, za jaký může být považován lignin, snižuje účinnost hydrolýzy. Z mikrobiologického hlediska je možné konstatovat, že během hydrolýzy a v závislosti na zpracovávaném vstupním materiálu jsou aktivní rody mikroorganismů *Bacteriodes*, *Clostridium*, *Acetovibrio*, *Peptostreptococcus* a *Bifidobacterium*.

1. Úvod

1.2 Acidogeneze

Druhou fází výroby bioplynu je acidogeneze. Během acidogeneze jsou produkty hydrolýzy (viz následující tabulka) využity jako substrát pro acidogenní mikroorganismy. Základním pochodem při acidogenezi je tedy transformace produktů hydrolýzy na nižší mastné kyseliny (octovou, propionovou, máselnou, valerovou, alkoholy, amoniak, oxid uhličitý a vodík. Je možno konstatovat, že přibližně 70 % produktů hydrolýzy představuje acetát (51 %) a plynný vodík (19 %), zbývajících 30 % představují redukované meziproducty jako vyšší mastné kyseliny, alkoholy nebo laktáty. Velice důležitou skutečností je, že acidogenní mikroorganismy nespotřebovávají ve svém metabolismu mastné kyseliny, ty tak mohou být substrátem v následujícím stupni vzniku bioplynu, acetogenezi.

Název	Anion	pKa	Chemický vzorec
Kyselina octová	acetát	4,76	CH ₃ COOH
Kyselina propionová	propionát	4,80	CH ₃ CH ₂ COOH
Kyselina másečná	butyrát	4,83	CH ₃ CH ₂ CH ₂ COOH
Kyselina valerová	valerát	4,84	CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH
Kyselina kapronová	kapronát	4,85	CH ₃ (CH ₂) ₄ COOH

Základní kyseliny vznikající při acidogenezi

1. Úvod

1.2 Acidogeneze

Acidogeneze se stejně jako hydrolýza skládá z několika dílčích reakcí. O jaké reakce se jedná, závisí na tom, jaké mikroorganismy převládají a jaký vstupní materiál je zpracováván v bioplynové stanici. Převládající pochody při hydrolýze závisí na několika faktorech, jako je koncentrace vstupního materiálu, pH a koncentrace vodíku. Příklad rozkladu glukózy uvádí následující tabulka.

Mnoho autorů potvrdilo, že v průběhu acidogeneze je aktivních nejvíce různých druhů mikroorganismů. Mnohé z mikroorganismů, které se zúčastňují acidogeneze, jsou shodné s těmi, které jsou přítomny při hydrolýze, nicméně existuje celá řada druhů, které se zúčastňují pouze acidogeneze. Jedná se například o rody *Enterobacterium*, *Bacteriodes*, *Acetobacterium* a *Eubacterium*.

Produkt	Reakce
Acetát	$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2$
Propionát + Acetát	$3C_6H_{12}O_6 \rightarrow 4CH_3CH_2COOH + 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2O$
Butyrát	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 4CH_3CH_2CH_2COOH + 2CO_2 + 2H_2$
Laktát	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3CHOHCOOH$
Etanol	$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2 CH_3CH_2OH + 2CO_2$

*Produkty acidogenního
rozkladu glukózy*

1. Úvod

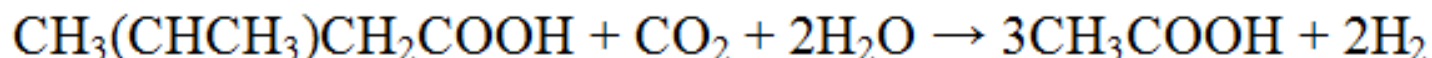
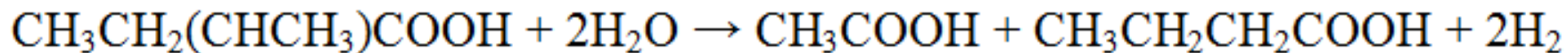
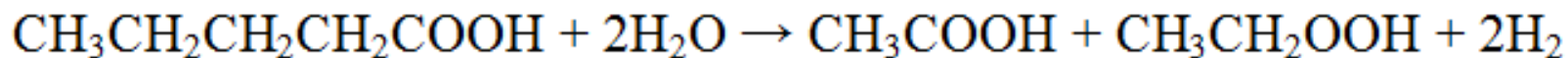
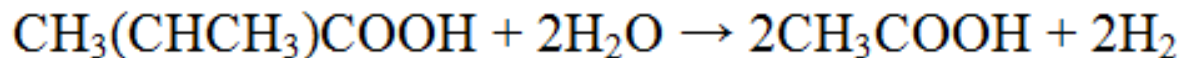
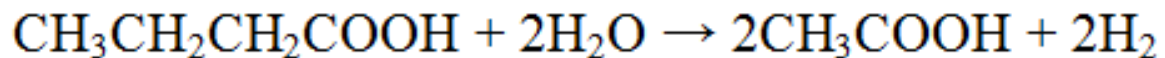
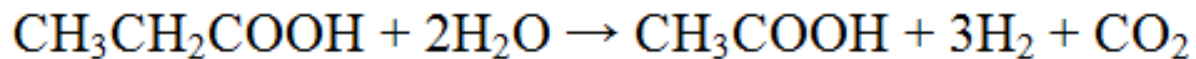
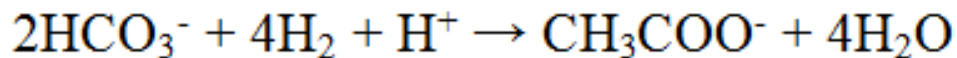
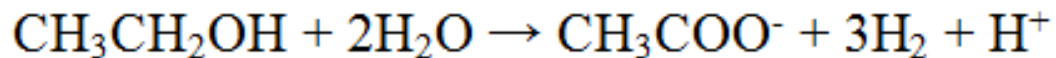
1.3 Acetogeneze

Třetí fází výroby bioplynu je acetogeneze. Tato fáze bývá považována za velmi důležitou, což pramení ze skutečnosti, že ne všechny produkty acidogeneze lze využít přímo v metanogenezi. Acetogeneze tak vyžaduje symbiózu autogenních a metanogenních mikroorganismů. Jako nejzásadnější parametr této fáze procesu byla mnoha autory označena koncentrace plynného vodíku H_2 při acetogenezi. Acetogeneze je spojena s produkcí plynného vodíku, pokud však není zabezpečeno kontinuální zpracování vodíku metanogenními archea, acetogeneze se zastaví a systém zkolabuje. Je nutné zmínit, že plynný vodík může být tvořen různými způsoby a ne všechny vodík produkující mikroorganismy jsou závislé na symbióze s jinými mikroorganismy a mezidruhovém transferu vodíku.

1. Úvod

1.3 Acetogeneze

Substráty pro acetogenezi jsou tvořeny různými mastnými kyselinami, alkoholy, některými aminokyselinami a aromatickými látkami. Je nutno podotknout, že reakce probíhající při acetogenezi jsou endotermické. Aromatické látky jsou sloučeniny cyklické struktury, jako je například kyselina benzoová, fenoly nebo některé aminokyseliny, které se vyskytují například v rostlinných materiálech a prasečí kejdě. Mastné kyseliny a alkoholy jsou produkty hydrolýzy a acidogeneze. Kromě vodíku tvoří tyto sloučeniny v průběhu acetogeneze zejména acetát a oxid uhličitý (viz následující tabulka)



Základní reakce probíhající při acetogenezi

1. Úvod

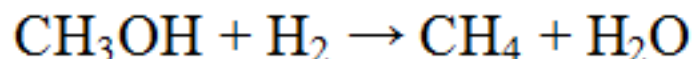
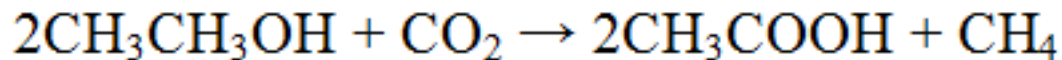
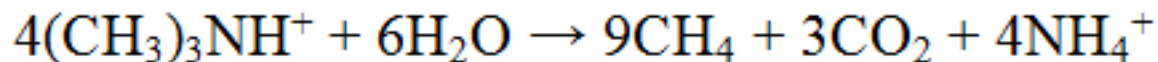
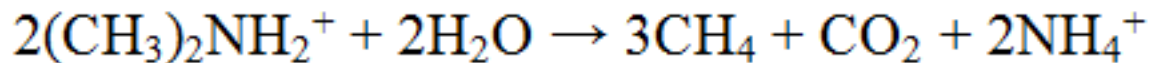
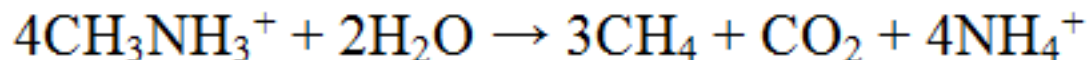
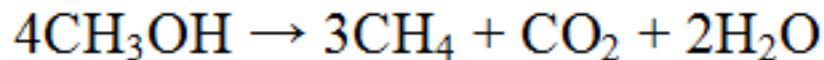
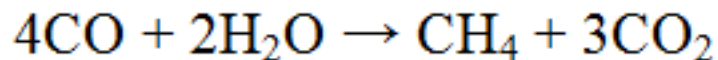
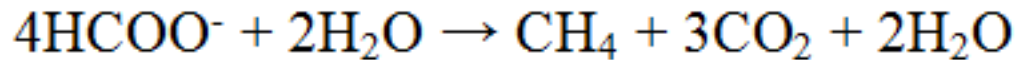
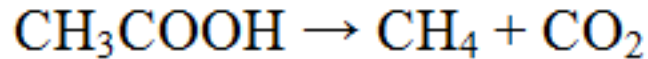
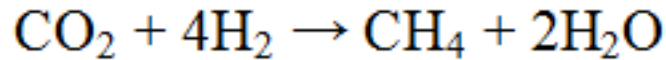
1.3 Acetogeneze

Syntrophomonas, *Syntrophus*, *Clostridium* a *Syntrobacter* jsou příklady rodů, ve kterých jsou četné organismy, které mohou provádět acetogenezi v symbióze s mikroorganismy, které využívají ve svém metabolismu plynný vodík. Mnohé z těchto mikroorganismů jsou známy jako acetogeny. To znamená, že kromě vodíku a oxidu uhličitého produkují také acetát.

1. Úvod

1.4 Metanogeneze

Metanogeneze je čtvrtou, poslední fází v procesu tvorby bioplynu. Metanogeneze probíhá za striktně anaerobních podmínek, při kterých vzniká činností metanogenních archea bioplyn, který je tvořen majoritními složkami, metanem a oxidem uhličitým. Všechny reakce probíhající při metanogenezi jsou exotermní. Substrátem pro metanogenní archea jsou vodík, oxid uhličitý a acetát, které vznikají v předchozím stupni acetogeneze. Základní reakce probíhající při metanogenezi jsou uvedeny v následující tabulce.



*Základní reakce probíhající při
metanogenezi*

1. Úvod

1.4 Metanogeneze

V metanogenní fázi procesu tvorby bioplynu převládá skupina mikroorganismů, acetotrofních metanogenů, které využívají ve svém metabolismu acetát jako substrát a štěpí jej na dvě části. Jeden z atomů uhlíku je využit k tvorbě metanu a druhý k tvorbě oxidu uhličitého. Acetát je zdrojem přibližně 70 % bioplynu vyrobeného ve fermentoru. Druhou významnou skupinou mikroorganismů při metanogenezi jsou hydrogentrofní metanogenní archea, které jako primární substrát pro tvorbu metanu spotřebovávají plynný vodík a oxid uhličitý.

1. Úvod

1.4 Metanogeneze

V současné době existují pouze dvě známé skupiny metanogenních archea, které rozkládají acetát, rody *Methanosaeta* a *Methanosarcina*, i když existuje mnoho různých skupin metanogenních archea, které používají plynný vodík jako substrát, včetně zástupců rodů *Methanobacterium*, *Methanococcus*, *Methanogenium* a *Methanobrevibacter*.

Vzhledem ke skutečnosti, že metanogenní archea obecně rostou velmi pomalu, bývá metanogeneze často limitující fází procesu výroby bioplynu. Generační doba metanogenních archea se pohybuje v rozmezí 1 až 12 dní. Z této doby bývá také často vycházeno při stanovování doby zdržení materiálu ve fermentoru. Příliš krátká doba zdržení (méně než 12 dní) zvyšuje riziko, že metanogenní archea budou z procesu odváděny spolu s materiálem.

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

Proces anaerobní fermentace ovlivňuje celá řada faktorů, mezi které patří potenciál produkce bioplynu vstupního materiálu, velikost částic vstupního materiálu, konstrukce fermentoru, použité inokulum, původ vstupních materiálů, pH, teplota, látkové zatížení fermentoru, hydraulická doba zdržení materiálu ve fermentoru, poměr C : N, sušina vstupního materiálu, koncentrace nižších mastných kyselin, způsob míchání fermentoru, obsah inhibitorů anaerobního procesu ve vstupním materiálu a obsah stopových prvků. Základní požadavky na prostředí ve fermentoru v průběhu anaerobní fermentace jsou uvedeny v následující tabulce.

Parametr	hydrolýza/acidogeneze	acetogeneze/metanogeneze
Teplota [°C]	25 – 35	Mezofilní 30 – 45 Termofilní 50 – 60
pH [-]	5,2 – 6,3	6,7 – 7,5
C:N [-]	10 – 45	20 – 30
Redox potenciál [mV]	+400 až -300	< -250
Požadovaný C:N:P:S [-]	500:15:5:3	600:15:5:3
Stopové prvky	nevyžadovány	Ni, Co, Mo, Se

*Požadavky na prostředí v průběhu
anaerobní fermentace*

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.1 Koncentrace mikroorganismů

Různé druhy mikroorganismů mají různě dlouhou generační dobu (viz následující tabulka). Nejdelší generační dobu mají metanogenní archea. Ve srovnání s nimi je generační doba hydrolytických a acidogenních mikroorganismů signifikantně kratší, riziko odvodu těchto mikroorganismů s již zfermentovaným materiálem je proto minimální. Aby nedocházelo k odvodu zejména metanogenních archea z fermentoru, bývá hydraulická doba zdržení materiálu ve fermentoru navrhovaná v rozmezí 10 – 15 dnů.

Anaerobní mikroorganismus	Generační doba
Acidogenní bakterie <i>Bacteroides</i> <i>Clostridia</i>	< 24 hodin 24 – 36 hodin
Acetogenní bakterie	80 – 90 hodin
Metanogenní archea <i>Methanosarcina barkeri</i> <i>Methanococcus</i>	5 – 16 dnů 10 dnů

*Generační doby anaerobních
mikroorganismů*

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.2 Vstupní materiál

Biologická rozložitelnost a tím i produkce bioplynu závisí na složení vstupního materiálu, na obsahu tuků, proteinů, polysacharidů, monosacharidů a na poměru jednotlivých komponent. Vzhledem k tomu, že poměr těchto komponent je v různých druzích vstupních materiálů různý, je odlišná i jejich rozložitelnost a produkce bioplynu. V následující tabulce je uvedena kvalita a teoretická produkce bioplynu vztažená na 1 kg organické sušiny vybraných komponentů vstupních materiálů.

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.2 Vstupní materiál

Biologická rozložitelnost a tím i produkce bioplynu závisí na složení vstupního materiálu, na obsahu tuků, proteinů, polysacharidů, monosacharidů a na poměru jednotlivých komponent. Vzhledem k tomu, že poměr těchto komponent je v různých druzích vstupních materiálů různý, je odlišná i jejich rozložitelnost a produkce bioplynu. V následující tabulce je uvedena kvalita a teoretická produkce bioplynu vztažená na 1 kg organické sušiny vybraných komponentů vstupních materiálů.

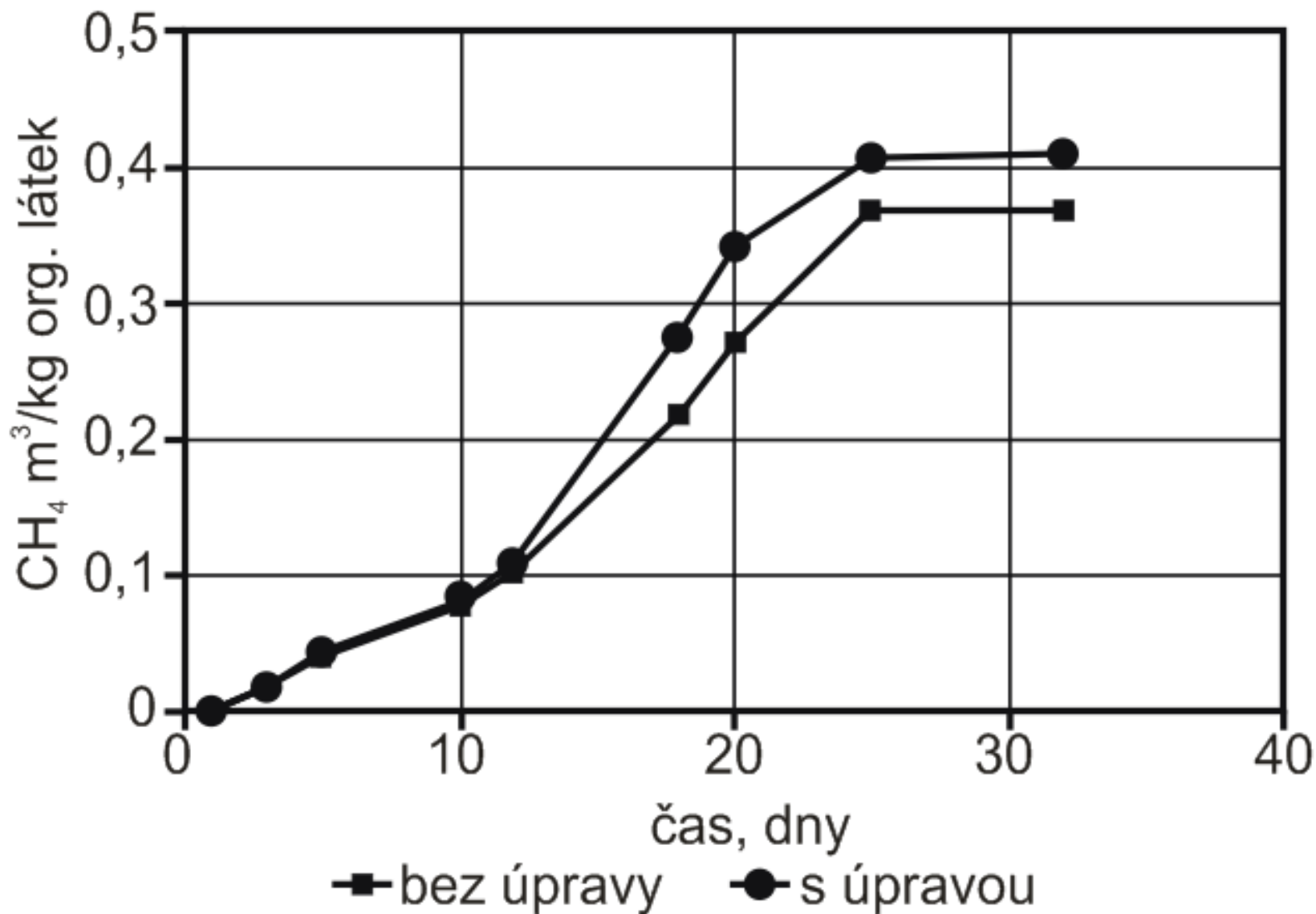
Látka	produkce bioplynu [m³] vztažená na kg organické sušiny	složení bioplynu [%_{obj.}] CH₄:CO₂
Tuky	1,10 – 1,60	80:20
Polysacharidy a monosacharidy	0,75 – 0,90	54:46
Proteiny	0,60 – 0,80	60:40

Teoretická produkce bioplynu

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.3 Velikost částic

Výroba bioplynu je také ovlivněna velikostí částic vstupního materiálu. Částice vstupního materiálu větší než 20 mm jsou pro mikroorganismy hůře zpracovatelné a povrch, který je ve styku s mikroorganismy, je mnohem nižší než u částic menších než 8 mm. Předúprava vstupního materiálu, resp. velikosti částic vstupního materiálu, tak významně ovlivňuje produkci bioplynu, resp. metanu. Rozdíl v produkci metanu z velikostně upravených a neupravených částic vstupního materiálu, kukuřičné siláže, je možno vidět na následujícím obrázku.



Produkce metanu z velikostně upravených a velikostně neupravených částic kukuřičné siláže

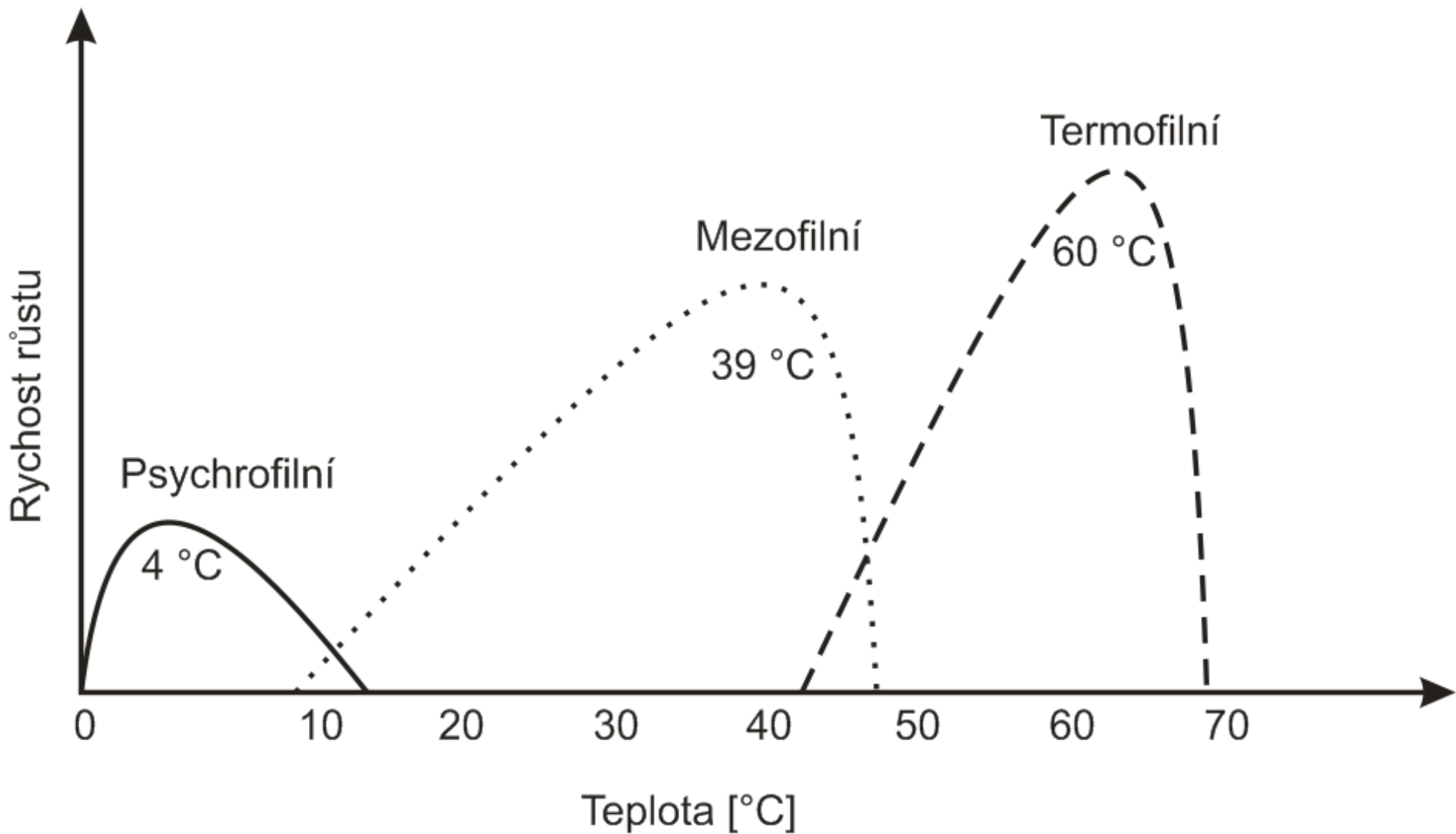
2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.4 Teplota

Optimální teplota, tj. teplota, při které mikroorganismus roste nejrychleji a energeticky nejefektivněji, je různá pro různé druhy mikroorganismů (viz následující obrázek).

Mikroorganismy můžeme dělit do různých skupin, v závislosti na teplotě, která je pro jejich život nejprůzračivější. Jedná se v zásadě o tři teplotní režimy.

- psychofilní, v rozpětí teplot od 5 °C do 25 °C,
- mezofilní, v rozpětí teplot od 30 °C do 45 °C,
- termofilní, v rozpětí teplot od 50 °C do 60 °C.



Rychlost růstu mikroorganismů v různých teplotních režimech

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.4 Teplota

Dnes provozované bioplynové stanice pracují obvykle při teplotách v rozmezí 30 – 45 °C nebo 50 – 60 °C. Výroba bioplynu je možná i v psychrofilním teplotním režimu, produkce a kinetika tvorby bioplynu bude však mnohem nižší a ekonomicky nezajímavá. V případě vysokých teplot jsou známy příklady metanogenních archea, které jsou schopny pracovat i při teplotách 110 °C. Stabilní bioplynové technologie provozované v praxi však nepřesahují teplotní hranici 60 – 70 °C. Při teplotách nad 60 °C je činnost metanogenních archea snížena natolik, že nejsou schopny zpracovávat produkty předchozích stupňů, což má za následek hromadění mastných kyselin ve fermentoru a kolaps procesu.

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.4 Teplota

Vůbec nejběžněji používaným teplotním režimem v bioplynových stanicích u nás i v zahraničí je mezofilní teplotní režim. Pro bezproblémový provoz bioplynové stanice je nutné udržovat stálou teplotu ve fermentoru. Jakýkoli výrazný výkyv v teplotě ve fermentoru může způsobit kolaps systému. Bioplynové stanice provozované v termofilním režimu jsou na změny teplot náchylnější než bioplynové stanice provozované v mezofilním teplotním režimu.

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.5 Hodnota pH

Po produkci bioplynu je hodnota pH zpracovávaného materiálu nejlepším indikátorem stability procesu. Různé fáze procesu výroby bioplynu požadují různé optimální hodnoty pH. Velmi významně jsou na pH citlivé metanogenní archea. Prostředí s nižší hodnotou pH působí na metanogenní archea inhibičně, čímž dojde k negativnímu ovlivnění produkce bioplynu.

Vznik organických kyselin během acidogeneze může způsobit snížení pH pod hodnotu 5, což je limitní koncentrace pro přežití metanogenních archea, a způsobit tak pokles počtu metanogenních archea. Na druhé straně nadměrný nárůst počtu metanogenních archea může vést k vyšší koncentraci amoniaku a tím zvýšení pH nad 8, což je naopak inhibiční pro acidogenezi.

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.5 Hodnota pH

Bylo prokázáno, že optimální rozpětí pH při procesu anaerobní fermentace se pohybuje v rozmezí od 6,5 do 7,5. Tento rozsah je poměrně široký, optimální hodnota pH vždy závisí na zpracovávaném materiálu a použité technologii. Hodnota pH je funkcí koncentrace těkavých mastných kyselin, hydrogenuhličitanů a alkality systému. Aby bylo možné udržet konstantní hodnoty pH, je důležité upravit vztah mezi koncentrací těkavých mastných kyselin a hydrogenuhličitanů.

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.6 Zatížení fermentoru organickými látkami

Zatížení fermentoru organickými látkami popisuje množství organického materiálu (vyjádřeno jako chemická spotřeba kyslíku nebo ztráta žíháním), které je denně přivedeno na jednotku užitečného objemu fermentoru.

Obvyklé zatížení fermentoru, který je provozován v mezofilním teplotním režimu, se pohybuje od 0,5 kg do 3 kg organické sušiny vstupního materiálu na m³ objemu fermentoru a den. Maximální hranice zatížení fermentoru organickými látkami je uváděna 5 kg organické sušiny vstupního materiálu na m³ objemu fermentoru a den.

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.6 Zatížení fermentoru organickými látkami

Vysoké zatížení fermentoru organickými látkami způsobuje zvyšování koncentrace mastných kyselin, což v dlouhodobém provozu působí inhibičně na metanogenní archea. Aby nedošlo k nadměrnému zatěžování fermentoru, je třeba zajistit rovnoměrný přísun vstupního materiálu během dne.

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.7 Doba zdržení

Doba zdržení nám udává čas, po který je elementární částice zpracovávaného materiálu v kontaktu se substrátem ve fermentoru. Doba zdržení lze vypočítat podle následující rovnice:

$$\tau = \frac{V}{Q} [s]$$

kde:

τ - doba zdržení [s]

V - objem reaktoru [m^3]

Q - průtok fermentorem [$m^3 \cdot s^{-1}$]

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.7 Doba zdržení

Rovnice je odvozená z průměrné doby potřebné k rozkladu organického materiálu, vyjádřená jako chemická spotřeba kyslíku (CHSK) a biochemická spotřeba kyslíku (BSK) na vstupu a výstupu materiálu do fermentoru. Obecně lze konstatovat, že delší doba zdržení materiálu ve fermentoru znamená jeho účinnější rozklad. Na druhé straně je třeba konstatovat, že množství vznikajícího bioplynu klesá s delší dobou zdržení. Optimální doba zdržení vychází z ekonomicko provozních propočtů. Doba zdržení je závislá na druhu zpracovávaného materiálu a zamýšleném použití zpracovaného materiálu po fermentaci.

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.7 Doba zdržení

Dále doba zdržení materiálu v anaerobním fermentoru závisí na provozní teplotě ve fermentoru a sušině zpracovávaného materiálu. Obecně platí, že fermentory provozované v mezofilním režimu mají delší dobu zdržení, stejně tak jako fermentory zpracovávající materiály s vysokým obsahem sušiny. Ke zkrácení doby zdržení materiálu ve fermentoru je využíváno míchání zpracovávaných materiálů. Doba zdržení také ovlivňuje skladbu mikrobiálních společenstev ve fermentoru.

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.8 Míchání obsahu fermentoru

Míchání materiálu ve fermentoru významně ovlivňuje proces anaerobní fermentace, a to zejména díky rovnoměrné distribuci živin a mikroorganismů ve zpracovávaném materiálu a teplotní homogenitě v celém objemu fermentoru. Mezi jednoznačné výhody míchání patří eliminace tvorby sedimentu ve fermentoru, eliminace teplotní stratifikace ve fermentoru, udržování chemické a fyzikální jednotnosti ve fermentoru, rychlé rozptýlení metabolických meziproductů vznikajících během rozkladu vstupních materiálů, rychlé rozptýlení všech toxických látek ve fermentoru (minimalizace toxicity).

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.8 Míchání obsahu fermentoru

Metanogenní archea rostou v symbióze s acetogenními a hydrogenními mikroorganismy, což vyžaduje přímý kontakt mezi oběma druhy, který zabezpečuje míchání. Hydrolytické a acidogenní mikroorganismy rozkládají organický materiál efektivněji díky většímu povrchu, který mají k dispozici v suspenzi, která se vytvoří v průběhu míchání materiálu ve fermentoru.

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.9 Poměr C:N

Uhlík a dusík jsou základními živinami anaerobních mikroorganismů. Pro efektivní provoz bioplynové stanice by se měl poměr C:N pohybovat v optimálním rozsahu 25 - 30 : 1, neboť významně ovlivňuje růst a činnost mikroorganismů. Každý jednotlivý vstupní materiál tedy může být omezující vzhledem k jeho obsahu živin. Z tohoto pohledu se jeví jako optimální kofermentace různých vstupních materiálů, kdy je možno smíchat vstupní materiály s různými obsahy C a N za účelem dosažení požadovaného poměru C:N.

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.10 Obsah stopových prvků

Zemědělské bioplynové stanice pracující s energetickými plodinami mohou za jistých podmínek čelit poklesu produkce bioplynu bez jakéhokoli zjevného důvodu. Základním vodítkem by měla být koncentrace nižších mastných kyselin. Pokud se pohybuje na úrovni 3 – 5 g·m⁻³, může to indikovat nedostatek nebo nedostupnost stopových prvků. Optimální provoz bioplynové stanice, respektive anaerobního procesu ve fermentoru bioplynové stanice, je závislý na dostupnosti a optimálním přísunu organické hmoty.

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.10 Obsah stopových prvků

Dalším důležitým faktorem je obsah stopových prvků, který může velmi významně ovlivňovat proces anaerobní fermentace.

Potřeba železa (Fe), niklu (Ni), kobaltu (Co), molybdenu (Mo), selenu (Se) a wolframu (W) pro různé metanogenní archea (*Methanosarcina barkeri*, *Methanospirillum hungatii*, *Methanocorpusculum parvum*, *Methanobacterium thermoautotrophicum*, *Methanobacterium wolfei*, *Methanococcus voltae*, *Methanococcus vanielli* a *Methanococcoides methylutens*) byla již potvrzena mnoha autory. Dále byly mnoha autory potvrzeny účinky stopových prvků Fe, Ni, Co, Zn, Mo a Cu na průběh anaerobní fermentace různých typů odpadů z průmyslových výroby.

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.11 Inhibitory anaerobní fermentace

Některé sloučeniny, které jsou produkty látkové výměny v průběhu anaerobní fermentace, mohou být v závislosti na koncentraci toxické nebo inhibovat mikrobiální společenstvo obsažené ve fermentoru. Inhibice procesu závisí na koncentraci inhibitorů, složení vstupního materiálu a adaptaci mikroorganismů na inhibitor. Jako zásadní inhibitory procesu anaerobní fermentace bývají uváděny čpavek, mastné kyseliny, sulfidy, ionty alkalických kovů (Na, K, Mg, Ca a Al), těžké kovy, organické látky, desinfekční přípravky, antibiotika, insekticidy a herbicidy.

2. Parametry ovlivňující anaerobní fermentaci

2.11 Inhibitory anaerobní fermentace

I přes často protichůdné závěry vědeckých prací na téma inhibitorů anaerobní fermentace je možné konstatovat, že anaerobní proces je adaptabilní a velmi rezistentní vůči inhibičním látkám, a to i ke koncentracím, které jsou toxické v jiných procesech.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



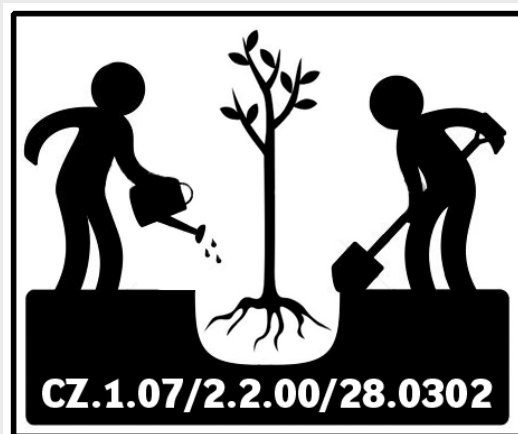
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Tato publikace je spolufinancována z Evropského sociálního fondu a státního rozpočtu České republiky.

Byla vydána za podpory projektu OP VK CZ.1.07/2.2.00/28.0302 Inovace studijních programů AF a ZF MENDELU směřující k vytvoření mezioborové integrace.