

STABILIZACE KALŮ

1

Definice

Stabilizace

- dosažení míry určitých vlastností kalu, vyjadřující vhodnost kalu pro určitý způsob jeho dalšího využití.
- stav, kdy je kal "stabilní" tj. nepodléhá intenzivnímu samovolnému rozkladu, neovlivňuje negativně prostředí

Metody stabilizace kalů

Anaerobní stabilizace

- Mezofilní
- Termofilní
- Fázování teploty

Aerobní stabilizace

- Simultánní
- Oddělená
- Autotermní (termofilní)

Chemické a fyzikální metody stabilizace kalů

- Stabilizace vápnem
- Sušení kalu

3

Anaerobní stabilizace

4

Cíle anaerobní stabilizace

- snížení obsahu organických látek (25-50%)
- zmenšení množství kalu
- snížení nákladů na nakládání s kaly
- hygienizace
- zlepšení energetické bilance ČOV

5

Anaerobní stabilizace kalů

- relativně investičně nákladná technologie
- proto je ekonomicky přijatelná od určitého množství kalů (velikosti ČOV)
- anaerobní stabilizace kalů se obvykle používá pro ČOV nad 50 000 EO s primární sedimentací
- v ČR je v některých případech úspěšně realizovaná už při 15 000 EO (Prachatice)

6

Teplota anaerobní stabilizace kalů

- jedná se o proces vysoce závislý na teplotě
- dříve se vyhnívací nádrže provozovaly při teplotě 33 - 37 °C, nyní je provozní teplota nejčastěji 38 – 40 °C
- termofilní anaerobní stabilizace při teplotě 55 °C
- přechod na termofilní stabilizaci je významným intenzifikačním faktorem
- pokusy s hypertermofilní oblastí cca 65 °C

7

Přednosti anaerobní stabilizace kalů:

- Proces anaerobní stabilizace je díky produkci bioplynu energeticky aktivní. Takto získaná energie postačuje na plné pokrytí energetických požadavků vlastního procesu (ohřev reaktorů, míchání).
- V procesu anaerobní stabilizace dochází v důsledku konverze organických látek na bioplyn, ke značnému snížení sušiny kalu, přibližně o 45-65% proti surovému kalu.
- Anaerobně stabilizovaný kal je výborným prostředkem k hnojení a zlepšení struktury půdy. Anaerobní stabilizací se odstraní nepříjemný zápach surového kalu.
- Při anaerobní stabilizaci dochází k částečné hygienizaci kalu - převážná část patogenů je průběhem procesu zničena.

8

Mezi nevýhody patří:

- relativně vysoké investiční náklady,
- dlouhá doba zdržení v anaerobních reaktorech,
- kalová voda po odvodnění anaerobně stabilizovaného kalu je znečištěna rozpuštěnými i nerozpuštěnými organickými i anorganickými látkami a vyžaduje další čištění.

9

Základní provozní parametry methanizačních nádrží.

Parametr	Rozměr	Nízkozátížená	Vysokozátížená
Teplota	°C	35 - 40	55
Doba zdržení	dny	20 - 30	10 - 15
Zatížení	kg/m ³ .d	0,5 - 1,5	2 - 5
pH		6,8 - 7,4	6,4 - 7,8
ORP	(mV)	-520 do -530	-490 do -550
Mastné kyseliny	(mg/l, C2)	50 - 500	> 2000
Neutralizační kapacita	(mg/l, CaCO ₃)	1500 - 3000	1000 - 5000

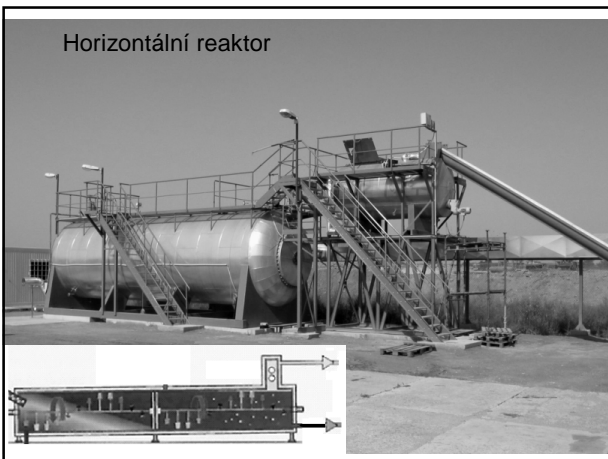
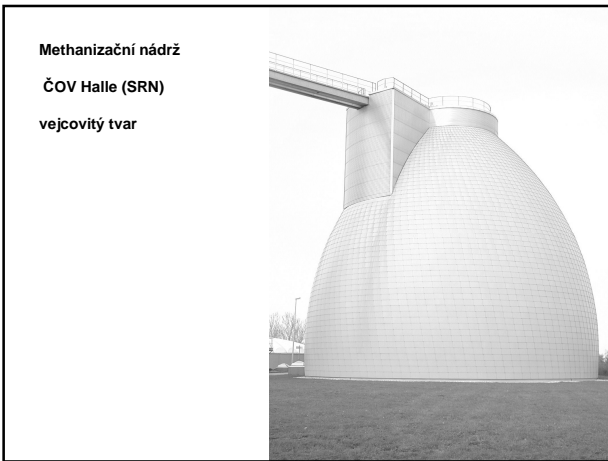
10



Methanizační nádrže – ÚČOV Praha



Děčín



Hlavní provozní návrhová kritéria:

- doba zdržení v reaktoru,
- zatížení,
- teplota
- míchání

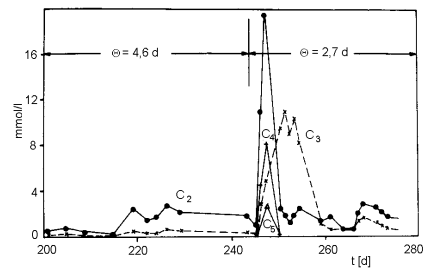
Doba zdržení

- ☐ dodržení potřebné doby pro růst mikroorganismů - generační doba např. acetotrofních methanogenů je 7 - 10 dní (pro stabilní provoz by měla být doba zdržení rovna minimálně dvojnásobku generační doby mikroorganismů).
- ☐ růst mikroorganismů a tedy i potřebná doba zdržení závisí také na provozní teplotě
- ☐ doba zdržení musí být tak dlouhá, aby došlo k rozložení požadovaného množství přivedených organických látek, tj. závisí kinetice procesu a na zatížení

Dolní limit doby zdržení určuje potřebné generační doba methanogenů, protože při nižší době zdržení než je generační doba dochází k vyplavení biomasy z reaktoru

Horní hranice doby zdržení je dána velikostí zatížení a dosažením potřebné účinnosti rozkladu.

19



Odezva mastných kyselin na změnu doby zdržení

20

Vliv koncentrace kalu

Koncentrace vstupujícího materiálu ovlivňuje potřebný objem reaktoru a také ekonomiku reaktoru (ohřev balastní vody). Limitujícím faktorem pro navrhování velikosti reaktoru je koncentrace surového kalu před vstupem do reaktoru, respektive schopnost zahuštění surového kalu (primárního, nebo sekundárního).

Pro danou dobu zdržení bude potřebná velikost reaktoru záviset na koncentraci vstupujícího materiálu. To jest, čím vyšší bude koncentrace vstupujícího kalu, tím bude potřebný menší objem reaktoru.

Koncentraci kalu ale nesmí být tak vysoká, aby způsobovala problémy s čerpáním kalu a mícháním nádrže.

21

Vliv zatížení organickými látkami

Látkové zatížení, resp. zatížení kalu zde nehraje tak velkou roli, protože se jedná o systém chemostat (stejná doba zdržení pro kapalnou i pevnou fázi).

Přesto zůstává objemové zatížení reaktoru důležitým návrhovým reaktorem.

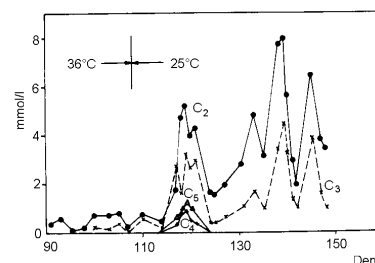
22

Vliv teploty

Pro stabilní provoz anaerobních reaktorů je důležité, aby teplota v reaktoru byla udržována na konstantní hodnotě.

Jednou z hlavních výhod termofilní anaerobní stabilizace kalů je vyšší stupeň hygienizace - tj. vyšší destrukce patogenních mikroorganismů, než lze dosáhnout při mezofilním procesu. Mimo to termofilní anaerobní stabilizace vykazuje hlubší rozklad organické hmoty a vzhledem k vyšším rychlostem rozkladu postačují nižší doby zdržení.

23



Vliv změny teploty na tvorbu mastných kyselin

24

Míchání

Účelem míchání anaerobních reaktorů je udržení homogenního prostředí uvnitř reaktoru.

- míchání zabezpečuje dobrý kontakt aktivní biomasy s přivedeným substrátem, zamezuje místnímu přetížení, zlepšuje odvod reakčních zplodin.
- mícháním se udržuje stejnoměrná teplota v celém objemu reaktoru, což je důležité k udržení dynamické rovnováhy probíhajících procesů.
- rychlým rozmícháním vstupujícího materiálu dochází k minimalizaci vlivu eventuálně přítomných toxických látek.
- míchání působí proti tvorbě tzv. kalové deky v reaktoru a zamezuje tvorbě sedimentů na dně reaktoru.

25

Způsoby míchání metanizačních nádrží:

a) mechanické - různé druhy míchadel, turbin, vrtulových čerpadel a pod.

b) recirkulací kalu - kalovými čerpadly různých typů a konstrukcí umístěných uvnitř nebo vně nádrže.

c) recirkulací plynu - bioplyn je čerpán z plynového prostoru a pod tlakem vhaněn do různých míst nádrže tak, aby došlo k dokonalému promíchání.

Dobré promíchání je dosažitelné při spotřebě energie 5 - 8 Wm⁻³ reaktoru při míchání plynem to odpovídá 0,27 - 0,42 m³ bioplynu na m³ reaktoru za hodinu

26

Způsoby vytápění methanizačních nádrží:

a) teplou vodou nebo párou a topnými tělesy uvnitř nádrže.

b) teplou vodou nebo párou ve výměnících tepla vně nádrže. Ohřívá se recirkulovaný a surový kal.

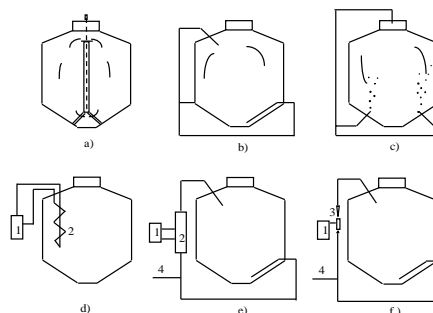
c) přímým injektováním vodní páry, buď přímo do nádrže nebo do recirkulovaného kalu

d) ponořenými plynovými hořáky (k ohřívání surového kalu).

27

Způsoby míchání a vytápění methanizačních nádrží.

a - míchání turbinou, b - míchání recirkulací směsi, c - míchání recirkulací plynu, d - vytápění vnitřním výměníkem tepla, e - vytápění vnějším výměníkem tepla, f - vytápění přímou párou, 1 - kotel, 2 - výměník tepla mezi vodou a kalem, 3 - parní ejektor, 4 - přívod surového kalu



28

Teplu potřebné k ohřevu reaktorů

Teplu potřebné k udržování provozní teploty v reaktorech je dáno:

- teplem potřebným k ohřátí vstupujícího materiálu
- teplem pro krytí ztrát tepla

29

Množství tepla potřebného k ohřátí vstupujícího materiálu je dáno vztahem:

$$q_s = Q_m \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1)$$

kde:

q_s - teplo potřebné k zahřátí vstupujícího materiálu z teploty T_1 na T_2

Q_m - hmotnostní tok vstupujícího materiálu

C_p - specifické teplo (můžeme uvažovat C_p vody, vliv suspendovaných látek na velikost C_p lze zanedbat)

T_1 - teplota vstupujícího materiálu

T_2 - teplota v reaktoru

30

Množství tepla potřebné pro krytí ztrát je obecně dáno vztahem:

$$q_z = U \cdot A \cdot (T_2 - T_1)$$

kde:

q_z - tepelné ztráty

U - koeficient přestupu tepla

A - přestupní plocha

T_1, T_2 - teplota vně a uvnitř reaktoru

31

Optimalizace anaerobní stabilizace

- zvýšením množství přiváděných organických látek (předsrážení OV)
- optimalizací technologických podmínek procesu zahušťování, míchání, dávkování)
- předúpravou kalu – dezintegrací (lyzátovací centrifugy, termická desintegrace, ultrazvuk)
- oddělení fází
- termofilní anaerobní stabilizací
- teplotní fázování
- kofermentace

32

Termofilní anaerobní stabilizace + lyzace

- zvýšení rychlosti rozkladu organických látek v kalu,
- zvýší se účinnost procesu tím, že se prohloubí rozklad organických látek,
- vyšší produkce bioplynu
- nižší produkce biomasy
- zvýšená teplota má hygienizační účinek,
- odstraní problémy s pěněním methanizačních nádrží
- zlepšit se energetická bilance procesu.

33

Oddělení fází

- zvýšení využití objemu anaerobních reaktorů
- optimalizace podmínek pro hlavní trofické skupiny MO
- zvýšení rychlosti hydrolyzy

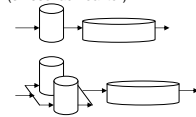
Kofermentace

- Z hlediska technologie: lepší využití objemu reaktorů, zlepšení energetické bilance, zlepšení bilance nutrientů
- Na molekulární úrovni: při společné fermentaci těžko rozložitelného a snadno substrátu dochází ke spojení biochemických cyklů – zvýší se energetický výtěžek reakce

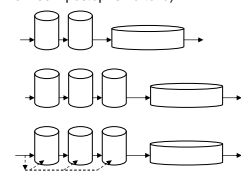
34

Jednostupňový nebo více stupňový proces?

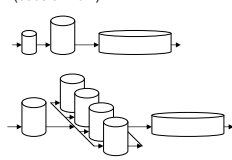
Jednostupňový proces
(směšovací reaktor)



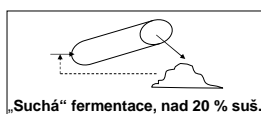
Jednostupňový proces ve více reaktorech
(přiblížení se k postupnému toku)



Dvou stupňový proces
(oddělení fází)



V prvním reaktoru probíhá pouze hydrolyza a acidogeneze



„Suchá“ fermentace, nad 20 % suš.

Anaerobní stabilizace s tepelným fázováním procesu

Hlavní výhody tohoto procesu jsou: nižší potřebná doba zdržení oproti mezofilnímu systému, hlubší rozklad přiváděného materiálu, zvýšení specifické produkce bioplynu, dosažení dostatečného hygienizačního účinku (stabilizovaný kal splňuje kritéria skupiny A), stabilnější provoz a úspora energie oproti termofilnímu procesu.

Např. Kolín nad Rýnem (Stammheim). Instalováno 5 vejcovitých nádrží každá o objemu 11 000 m³. Jedna z nádrží pracuje v termofilním režimu (55°C) a ostatní čtyři paralelně v mezofilním režimu (37°C).

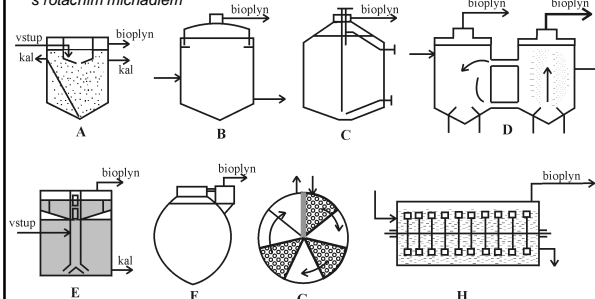
36

Parametry termofilně/mezofilní anaerobní stabilizace (Köln-Stammheim):

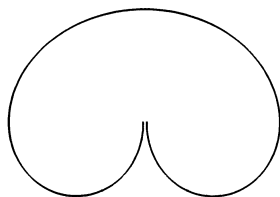
Surový kal: objem 2 010 m³.d⁻¹
 koncentrace sušiny 60 kg.m⁻³
 obsah organické sušiny 60 %
 Doba zdržení: I termofilní 5,5 d, II mezofilní 21 d
 Stabilizovaný kal: koncentrace sušiny 31 kg.m⁻³
 obsah org. sušiny 46 %
 Bioplyn: celková produkce 32 106 m³.d⁻¹
 specifická produkce 0,45 m³.kg⁻¹
 Zvýšení účinnosti rozkladu organických látek z 48% na 60%.
 Pokles ZZ v sušině stabilizovaného kalu klesl z 53 na 46%,
 Specifická produkce bioplynu vzrostla z 0,386 na 0,45 m³.kg⁻¹
 Celková produkce bioplynu vzrostla o 16,5%
 množství stabilizovaného kalu se snížilo o 10-15%.

37

Různé typy anaerobních reaktorů pro zpracování materiálů v suspenzi
 A – historická štěrbinová (Imhoffova) nádrž, B – nádrž s nasazeným plynojemem, C – železobetonová nádrž stojatá válcová s kónickými dny, D – pneumaticky míchaná dvojitá nádrž, E – pulzační nádrž systém BIMA, F – nádrž vejčitá s přepadovou komorou, G – válcová nádrž s programově řízenými míchacími sektory (pohled shora), H – horizontální nádrž s rotačním míchadlem



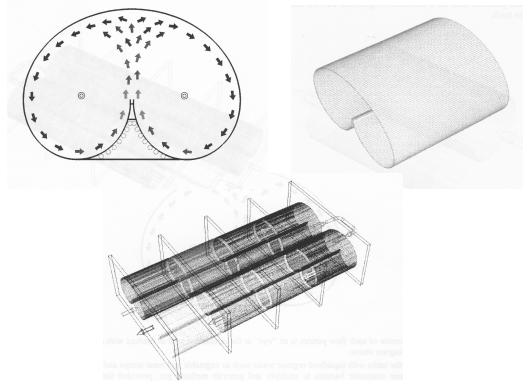
„Ideální“ tvar anaerobního reaktoru



$$\frac{1}{24} Qa^3 \int_{-L/2+\varepsilon}^{+L/2-\varepsilon} \left(\frac{\partial \phi}{\partial l} \right)^2 dl$$

39

„Ideální“ tvar anaerobního reaktoru



40

Produkce bioplynu

- produkce bioplynu závisí na mnoha faktorech jako je složení kalu, teplota a doba zdržení ve vyhnivací nádrži apod.
- při nerovnoměrném zatížení VN surovým kalem je rovněž nerovnoměrná produkce bioplynu
- při **mezofilní stabilizaci** se průměrně dosahuje specifické produkce 400 – 475 l bioplynu na 1 kg přivedených organických látek
- při **termofilní stabilizaci** se průměrně dosahuje specifické produkce 550 - 625 l bioplynu na 1 kg přivedených organických látek
- při **termofilní teplotě** obsahuje produkovaný bioplyn přibližně 3 x více vodních par, než při mezofilní teplotě – z tohoto důvodu nestačí „klasické“ odvodňování pomocí kondenzačních členů, doporučuje se sušení bioplynu

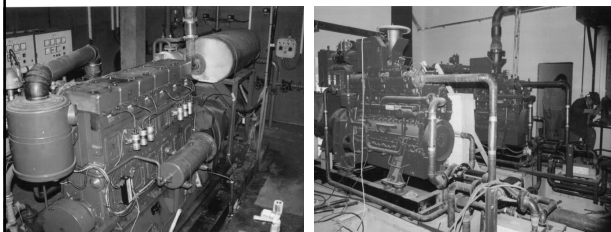
41

Využívání produkovaného bioplynu

- obvyklé složení bioplynu produkovaného na ČOV je 62 – 66 % metanu
- odpovídající výhřevnost bioplynu je 22,0 – 23,6 MJ/Nm³
- aktuálně nevyhodnějším (dotace na výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů) a tedy nejčastějším způsobem využití bioplynu je kombinovaná výroba el.en. a tepla - kogenerace

42

Kogenerace



43

Kogenerace

- účinnost kogeneračních jednotek na elektrickou energii je cca 35 - 42 % a na tepelnou energii 52 - 56 %
- při dimenzování potřebné kapacity kogeneračních jednotek je nutné vycházet jak z nerovnoměrnosti produkce bioplynu v průběhu roku, tak i z reálných provozních hodin kogenerační jednotky

44

BILANCE ENERGIE

Specifická prod. bioplynu **0,62 Nm³/kg VLorg přiv.**
0,45 Nm³/kg VLorg přiv.
 1 kg VLorg - výhřevnost **23 MJ/kg VLorg**
 1 Nm³ bioplynu - výhřevnost **23,5 MJ/Nm³**
6,528 kWh/Nm³
 na odpaření 1kg vody je potřeba **3,3 MJ/kg vody**

Z 1 Nm³ bioplynu (66 % methanu) se kogenerací vyrobí
 > **2,21 kWh elektrické energie**
 > **3,54 kWh tepelné energie**

45

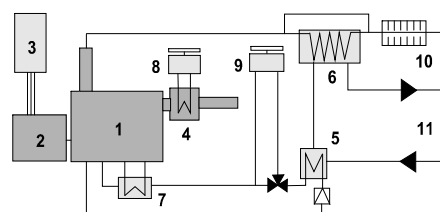
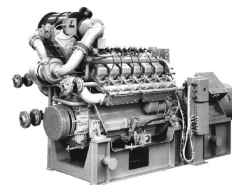


Schéma agregátů kogenerační jednotky
 1 - plynový motor, 2 - generátor, 3 - rozvaděč s řídicím systémem, 4 - mezichladič plyní směsí, 5 - výměník voda/voda, 6 - výměník spaliny/voda, 7 - chladič mazacího oleje, 8,9 - radiátorové chladiče, 10 - tlumič hluku, 11 - uživatelský topný okruh



46

Plynojemy

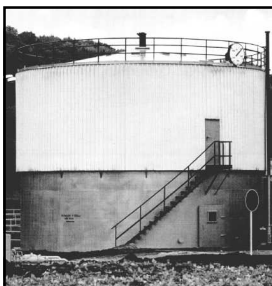
- akumulace plynu,
- regulace přetlaku v celém plynovém systému,
- vyrovnávání rozdílů mezi časovým průběhem produkce a spotřeby plynu
- dimenzují se podle souladu a rovnoměrnosti produkce a spotřeby (většinou pro akumulaci cca jednodenní produkce)

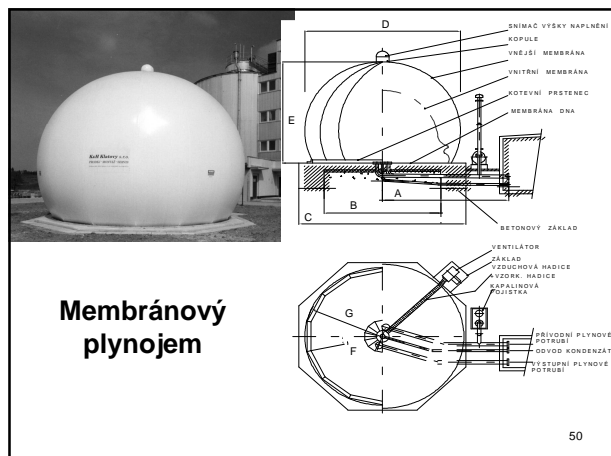
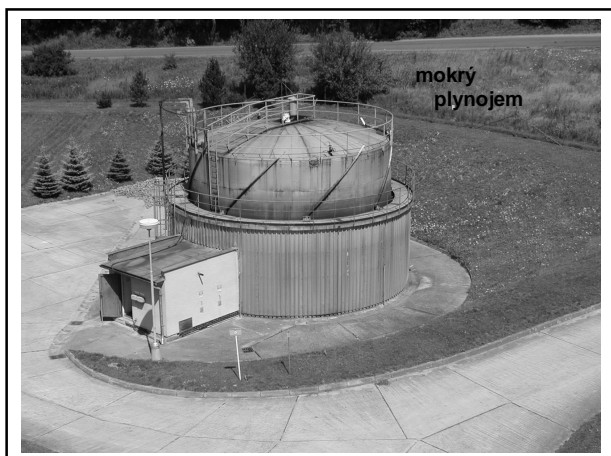
V současné době se používá několik technických řešení plynojemů, zejména:

- mokré plynojemy
- suché plynojemy s jednoduchou membránou
- dvoumembránové textilní plynojemy
- textilní vaky a matrace

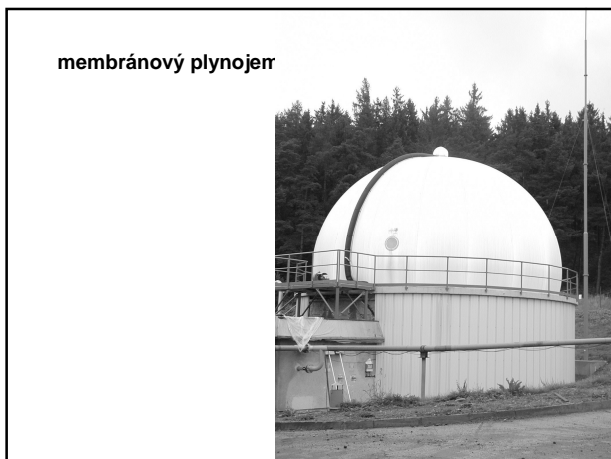
47

Mokrý plynojem





Membránový plynojem



Vlastnosti a zpracování anaerobně stabilizovaného kalu

Vlastnosti a zpracování anaerobně stabilizovaného kalu

Dobře stabilizovaný kal je nepáchnoucí, dobře odvoditelný a z hygienického hlediska nezávadný. Z fyzikálního hlediska je to tmavá (až černá) amorfni heterogenní směs suspendovaných a koloidních látek. Barva je dána hlavně nerozpuštěným sulfidem železnatým.

Vzhledem k příznivému obsahu organických a anorganických látek je kal po methanizaci vhodný pro použití jako hnojivo buď přímo, nebo ke kompostování. Podporuje tvorbu humusu a upravuje strukturu půdy. Zemědělské využití je však omezeno obsahem těžkých kovů a jiných polutantů.

Pro své vysoké sorpční schopnosti a obsah koloidních látek může být kal též použit k předčištění některých chemických odpadních vod

Z čistírenských kalů se po stabilizaci a hygienizaci stává stabilizovaný materiál, který díky svým vlastnostem je přímo předurčen k využití v zemědělství.

Řízená aplikace čistírenských kalů v zemědělství – recyklace – je také prioritním směrem využívání kalů v Evropské unii, předpokládá se, že v budoucnu bude v zemědělství využito okolo 55 % čistírenských kalů

Recyklace kalů do půdy

Obsah těžkých kovů a rizikových látek Přítomnost patogenů

- termotolerantní koliformní bakterie,
- enterokoky a
- bakterie rodu *Salmonella* spp

55

VYHLÁŠKA č. 382/2001 Sb. Platnost od 1.1.2002

Kategorie kalu	Přípustné množství KTJ v 1g sušiny aplikovaného kalu		
	Termotolerantní koliformní bakt.	Enterokoky	Salmonella sp
I. (A)	< 10 ³	< 10 ³	0
II. (B)	10 ³ - 10 ⁶	10 ³ - 10 ⁶	Nesleduje se

56

Využití anaerobních procesů pro rozklad partikulárního znečištění

- Čistírenské kaly
- Exkrementy hospodářských zvířat (keřda, hnůj)
- Rostlinné a živočišné odpady ze zpracovatelského průmyslu
- Odpady z jatek
- Energetická biomasa
- Organická frakce tuhého komunálního odpadu
- Skládky

57

Metody stabilizace kalů

Anaerobní stabilizace

- Mezofilní
- Termofilní
- Fázování teploty

Aerobní stabilizace

- Simultánní
- Oddělená
- Autotermní (termofilní)

Chemické a fyzikální metody stabilizace kalů

- Stabilizace vápnem
- Sušení kalu

58

Aerobní stabilizace

59

Aerobní stabilizace

- je založena na oxidaci organických látek v kalu
- typická pro malé ČOV
- konvenční způsoby a) provozování aktivace při stáří kalu nad 25 – 30 dnů
- konvenční způsoby b) aerace přebytečného aktivovaného kalu
- moderní způsoby např. autotermní aerobní stabilizace

60

AUTOTERMNÍ TERMOFILNÍ AEROBNÍ STABILIZACE (ATAD)

Princip

Teplo potřebné k udržení termofilních podmínek v reaktoru je získáno při biologické oxidaci organických látek.

Termofilní organismy v systému jsou výrazně aerobní, jejich metabolismus je **exotermní**, a rychlejší než u ostatních mikroorganismů.

61

AUTOTERMNÍ TERMOFILNÍ AEROBNÍ STABILIZACE

Při biologické oxidaci organického uhlíku se uvolní 52 až 55 kJ/g C

Do biomasy: 12 - 13 KJ /g C zoxidovaného

Při oxidaci 1g organických látek se uvolní cca 42 kJ tepelné energie při současné spotřebě 1,42 gramů kyslíku.

Za předpokladu 100 % využití tepelné energie a nulového odparu vody dojde při **oxidaci 1 g/l organických látek k vzrůstu teploty 1 l kalu o cca 10 °C**.

je však nezbytné započítat i **výparné teplo vody, které je 2257 kJ/kg**.

62

AUTOTERMNÍ TERMOFILNÍ AEROBNÍ STABILIZACE

Účinnost provozních ATAD

Druh kalu	Odstranění VLog[%]
Prodoužená aerace	25-35
Přebytečný aktivovaný kal	25-40
Primární + aktivovaný kal	30-56

63

AUTOTERMNÍ TERMOFILNÍ AEROBNÍ STABILIZACE

Základní podmínky autotermního provozu

- Dostatečně zahuštěný vstupující kal
- Dostatečné množství snadno rozložitelných organických látek v zpracovávaném materiálu
- Dostatečná tepelná izolace reaktoru, rekuperace tepla
- Efektivní míchání
- Efektivní aerace

64

AUTOTERMNÍ TERMOFILNÍ AEROBNÍ STABILIZACE

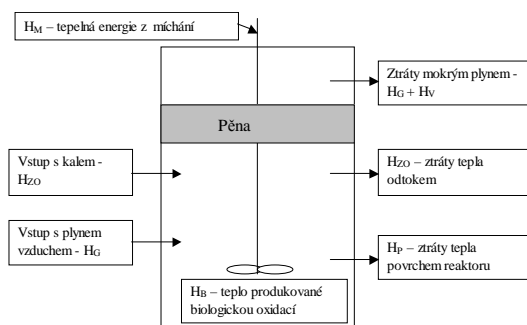
Bilance tepla

$$HB + HM = HZO + HG + HP + HV$$

kde: HB – teplo produkované biologickou oxidací
 HM – tepelná energie z mechanického míchání
 HZO – ztráty tepla odtokem
 HG – ztráty tepla v odtahovaných plynech
 HP – ztráty tepla povrchem reaktoru
 HV – latentní teplo vodní páry

65

AUTOTERMNÍ TERMOFILNÍ AEROBNÍ STABILIZACE



66

AUTOTERMNÍ TERMOFILNÍ AEROBNÍ STABILIZACE

Teoreticky dosažitelná teplota ATAD v závislosti na koncentraci kalu (běžná výchozí teplota a koncentrace)

	Teplota [°C]	
	kal 6 % sušiny	kal 3 % sušiny
Vzduch	44	24
Kyslík	83	44

67

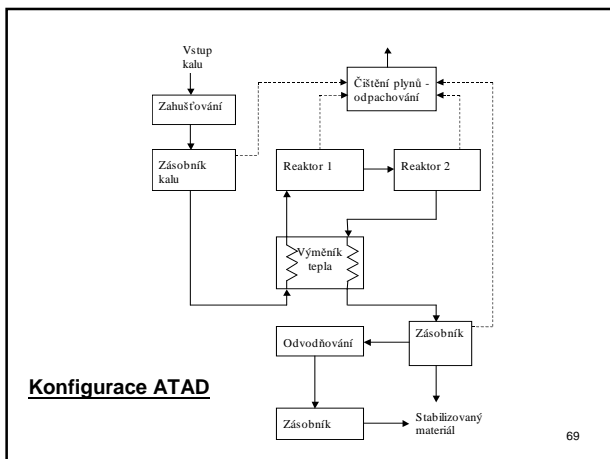
AUTOTERMNÍ TERMOFILNÍ AEROBNÍ STABILIZACE

Návrhové parametry termofilní aerobní stabilizace

Parametr	hodnota
Vstupující sušina [%]	4-6
Obsah org. látek v sušině [%]	min. 60
Doba zdržení [d]	5-9
Dodávka vzduchu [m ³ /m ³ h]	2-4
Odstranění VLorg [%]	25-65

Optimální teplotní rozmezí: 55 až 60°C, kdy vedle odstraňování zápachu dochází i k devitalizaci patogenních mikroorganismů

68



69

AUTOTERMNÍ TERMOFILNÍ AEROBNÍ STABILIZACE

Výhody a nevýhody ATAD

Výhody

Dává kal třídy A
 Významně snižuje VLorg – stabilizuje kal
 Reaktory a další nádrže jsou plně zakryté – kontrola zápachu
 Relativně jednoduché zařízení pro provoz i údržbu
 Stabilizovaný produkt lze odvodnit na 25-30% sušiny
 Energie potřebná k hygienizaci kalu se získává v procesu

Nevýhody

Odpadající plyny vyžadují čištění – odpachování
 Vstupující kal musí být zahuštěn minimálně na 4-6% sušiny
 Problémy s pěněním reaktorů
 Stabilizovaný kal vyžaduje větší dávky flokulantů před odvodňováním

70

NÁVRHOVÉ PARAMETRY PRO AEROBNÍ STABILIZACI KALU PŘI 20°C

Parametr	Hodnota
Doba zdržení [d]	
Přebytečný aktivovaný kal samotný	10-15
Aktivovaný kal bez primární sedimentace	12-18
Primární + aktivovaný kal	15-20
Zatížení [kg/m ³ d]	1,5-4,5
Potřeba kyslíku [kg O ₂ /kg VLorg. odstraněn.]	
VLorg	≈ 2,3
BSK ₅ primárního kalu	1,6-1,9
Potřeba energie pro míchání	
Mechanické míchání [kW/10 ³ m ³]	20-40
Míchání vzduchem [m ³ /m ³ h]	1,2-2,5
Koncentrace rozpuštěného O ₂ [mg/l]	1-2
Účinnost odstranění VLorg [%]	40-50

71

Autotermní aerobní předúprava - duální systém

1. Stupeň - aerobní termofilní, 50-60°C

2. Stupeň - mezofilní anaerobní, 35°C

Výhody: vysoká hygienizace, prohloubení rozkladu

72

Samotný proces autotermní aerobní stabilizace kalů

je vhodné použít především na čistírnách o menší velikosti
Obvyklá doba zdržení v rozmezí 6 – 8 dní.

Duální systém stabilizace kalů

Zapojení **autotermní aerobní stabilizace** jako předstupeň

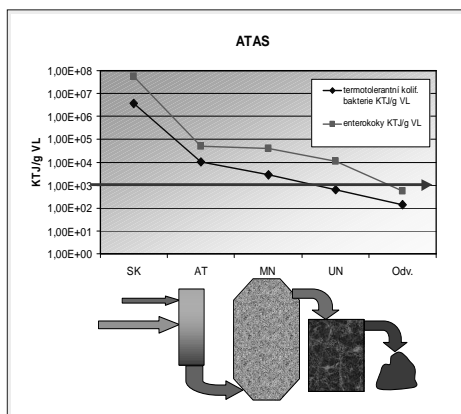
před **mezofilní anaerobní stabilizaci** kalů,
obvyklá doba zdržení je 1 – 3 dny
způsob ohřevu kalu pro anaerobní stabilizaci kalu.

73

Sledování hygienizační účinnosti provozního zařízení

- V prvním stupni
- reaktor **AEROTERM** o objemu 12 m³,
- dávka kalu je 12 m³/d, doba zdržení ~ 1 den.
- Začínající teplota 60 °C, přibližně po 1 hodině je teplota 62 – 65 °C.
- Ve druhém stupni
- **mezofilní anaerobní stabilizace** o objemu ~ 450 m³.
- Doba zdržení přibližně 30 dní
- a výstupní organická sušina ~ 48 – 49 %.

74



75



76



77



78

Mikrobiologické analýzy:

- Systém je mnohem účinnější v odstranění termotolerantních koliformních bakterií než pro snižování počtu enterokoků.
- Vyšší rezistence enterokoků proti působení vyšší teploty i proti enzymatické hydrolýze
- Při dodržení technologických parametrů má výstupní kal **kvalitu třídy A** i z hlediska počtu enterokoků.

79

Mikrobiologické analýzy odvodněného kalu

odběr	STANOVENÍ					
	kolif. termotol. bakt.		enterokoky		salmonela	
	KTJ	četnost	KTJ	četnost		četnost
IV / 99	< 50	20	< 50	20	negativní	35
XII / 99	< 50	18	< 50	18	negativní	35
X / 00	8,2.10 ²	5	< 50	5	negativní	15

80

Duální systém skládající se z :

- z autotermního termofilního aerobního stupně
- následovaného mezofilním anaerobním stupněm,
- uskladněním a odvodněním kalu.

Má vysoký hygienizační účinek a **je schopen** poskytovat stabilizovaný kal, třídy I.

81