



---

## A biogáz – anaerob erjesztés

---

Gyalai-Korpos Miklós, doktoráns  
BME ABÉT



---

## Vázlat

---

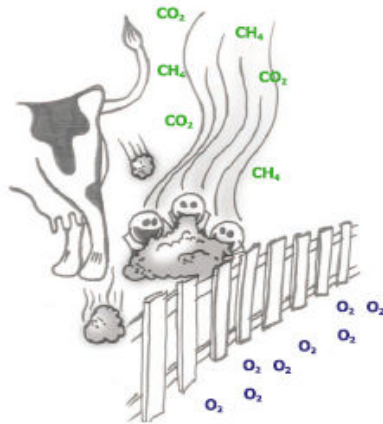
1. Definíció és történeti áttekintés
2. Mikrobiológiai háttér
3. Alkalmazási területek és nyersanyagok
4. Technológiai megoldások
5. Biogáz összetétele és tisztítása
6. Elterjedés és felhasználás





## Mi a biogáz?

- Metán és szén-dioxid elegye, amit
- Mikroorganizmusok állítanak elő
- Anaerob körülmények közt
- Szerves anyag biokonverziójával



3



## Biogáz története

- XVII. század: szerves anyagok bomlása során éghető gáz keletkezik – mocsárgáz
- 1776 – Volta megállapítja, hogy összefüggés van a szerves anyag mennyisége és a keletkező gáz térfogat közt
- 1804 – Dalton kimutatja belőle a metánt
- Pasteur fedezi fel, hogy mikrobák állítják elő
- 1856 – első biogáz telep, Mantunga, India
- 1896 – angliai Exeterben közvilágításra használják

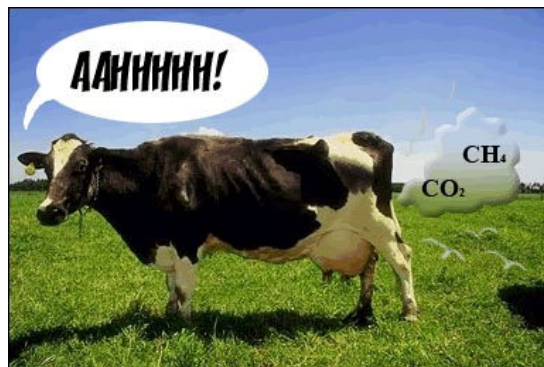
1920 – szennyvíz iszapok  
1975 – trágya  
1985 – ipari szerves hulladék és együttes erjesztés  
1990 – biohulladék  
1995 – szerves kommunális hulladék



4



## Folyamat



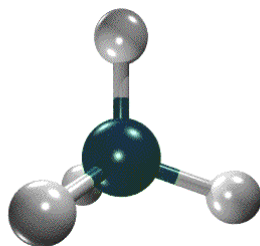
Több lépcsős, több baktériumfaj együtt működésével  
Eltérő optimumok, érzékeny folyamat



5



## Folyamat



Metán:

- Szintelen, szagtalan
- Földgáz fő alkotója
- Üvegházhatású

Forrás	Becsült mennyiség Mt/év
Mocsarak	115
Termeszek	20
Egyéb	20
<b>Összesen</b>	<b>155</b>
Haszonállatok	80
Rizs termelés	60
Földgáz feldolgozás	50
Szénbányászat	40
Biomassza égetés	40
Hulladéklerakók	30
Trágya	25
Szennyvízkezelés	25
<b>Összesen</b>	<b>350</b>



6



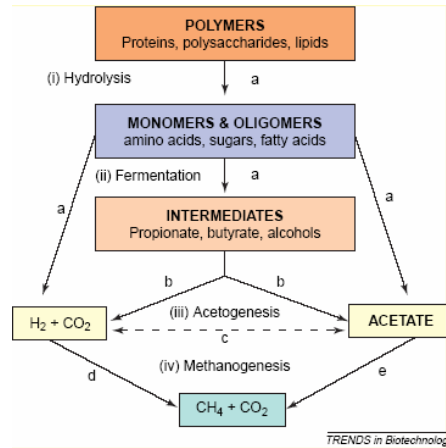
## Mikrobiológiai háttér

Négy lépcső:

1. Hidrolízis
2. Fermentáció
3. Savképzés
4. Metánképzés

Négy mikrobacsoport:

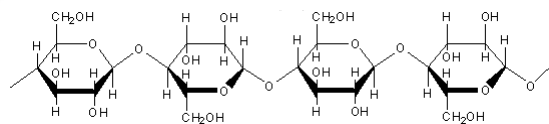
- a. Fermentáló
- b. Acetogén
- c. (Homoacetogén)
- d. Hidrogenotróf
- e. Acetotróf



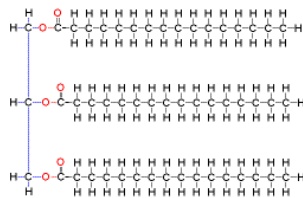
Angenent, L. T.; Karni, K.; Al-Dahhan, M. H.; Weira, B. A. & Domínguez-Espínosa, R.  
 Production of bioenergy and biochemicals from industrial and agricultural wastewater.  
*Trends Biotechnol.* 2004, 22, 477-485



## Hidrolízis



Cellulóz → Glükóz



Triglyceride

Triglicerid (zsírok, olajok) → Zsírsavak



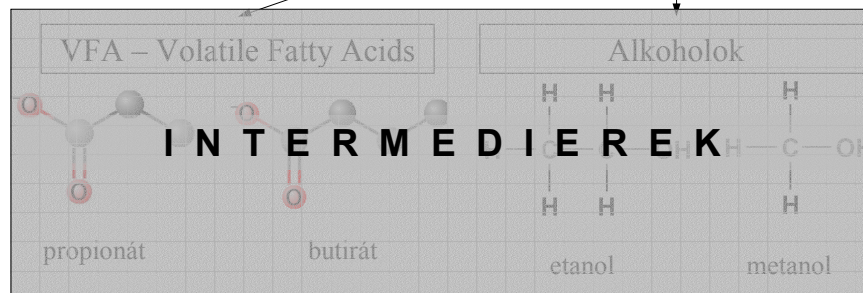
Fehérjék → Aminosavak





## Fermentáció

Mono- és oligomerek



9



## Hidrolízis és fermentáció

Fermentáló mikrobák főbb jellemzői:

- A mikroba sejtek képtelen a polimerek felvételére, ezért lebontásuk sejten kívüli, azaz exoenzimekkel történik – cellulázok, lipázok, proteázok...

Sebessége függ:

- Enzim mennyiségétől
- Szubsztrát fajtájától:

Olajok, zsírok > fehérjék > lignocellulózok

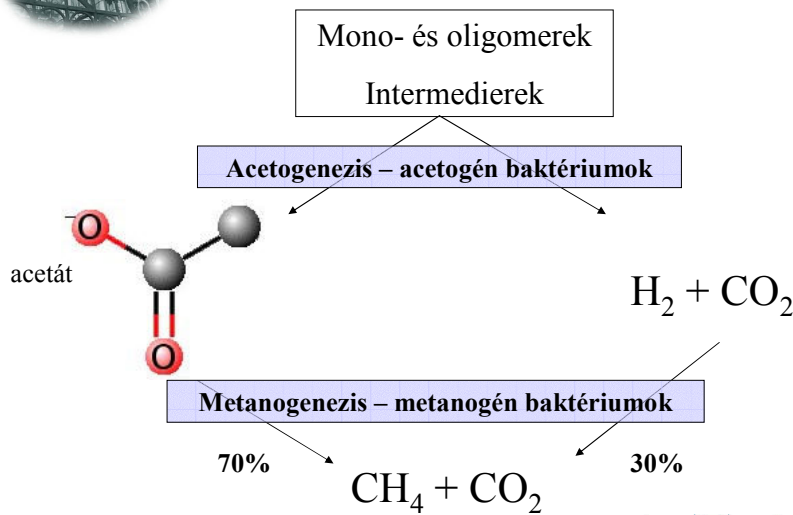
- Saját energiaigény fedezése a termékekből (cukrok, zsírok, AS-ek), ami közben számukra felesleges bomlástermékeket választanak ki.



10



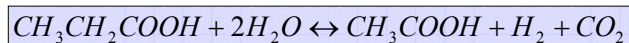
## Sav- és metánképzés



11



## Acetogén baktériumok



Acetogén baktériumok főbb jellemzői:

- Nagy fajdiverzitás, sokféle szubsztrát hasznosítására képesek – ellenállóak a környezeti változásoknak
- Azonban: a fenti egyensúlyi reakció termodinamikai szempontból a kiindulási anyagok felé van eltolva, a termékek állandó fogyása biztosítja, hogy végbemegy. Másképpen termék inhibíció lép fel.

**Azaz: az acetogének a metanogénektől függenek!!**



12



## Metanogén baktériumok

Metanogének főbb jellemzői:

- Baktériumok speciális csoportjához, az úgynevezett *Archaea-k* (ősbaktériumok) közé tartoznak.
- Csoportosítás:
  - Acetotrófok (pl.: *Methanosarcina-k*): kemoorganotróf  
 $\text{CH}_3\text{COOH} = \text{CH}_4 + \text{CO}_2$
  - Hidrogenotróf (pl.: *Methanobacteria-k*): kemolitotróf  
 $4 \text{H}_2 + \text{CO}_2 = \text{CH}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$
- Szaporodásuk lassú és igen érzékenyek a környezet változásaira.
- Szigorúan anaerobok

**Azaz: a metanogének is függenek az acetogénektől!!**



13



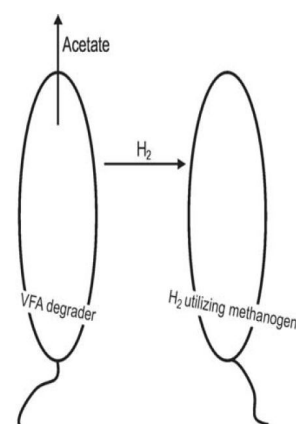
## Kölcsönhatások

Szintrópia:

- Táplálékmegosztás és egymás segítése:
  - Szubsztrát elfogyasztás = termék elvonás
  - Jó pH tartomány

Fajok közötti hidrogén átadás:

- Közvetlenül – diffúzió limitált
- Bizonyíték:
  - Acetát koncentráció:  $10^{-4} - 10^{-1}$  M
  - Hidrogén koncentráció:  $10^{-8} - 10^{-5}$  M
- Technológiai szempont: keverés – aggregáció elősegítő



14



## pH tartomány

Metanogének pH optimuma: 6,8 és 7,4 között (pH 6 alatt és pH 8 felett nincs gáztermelés)

Acetogének pH optimuma: 5,8 és 6,2 között (pH-tól is függ az intermedierek termék eloszlása)

Hogy csökkenhet a pH?

- Túladagolás – hirtelen jól bontható szubsztrát nagy mennyiségű beadagolása – VFA felhalmozódás
- Kölcsönhatások megszűnése – VFA felhalmozódás

Hogy nőhet a pH?

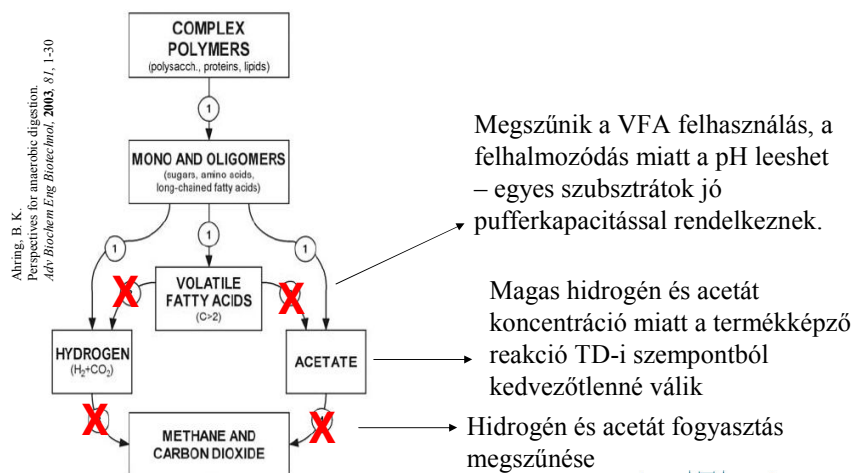
- Magas szerves nitrogén (fehérje) tartalmú szubsztrát esetén – ammónia képződés



15



## Kölcsönhatások megszűnése



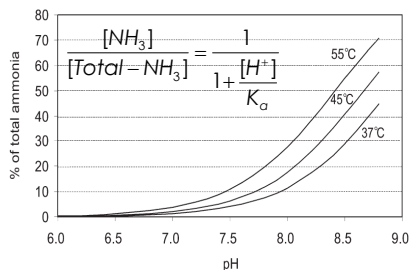
16





## Ammónia inhibíció

- A leggyakoribb gátló vegyület, mivel sok szubsztrátnak magas a fehérjetartalma.
- Az irodalom sokféle koncentrációt említ, mivel a gátlás függ a pH-tól, hőmérséklettől, valamint adaptáció is gyakori.
- Csak a szabad ammónia hat gátlólag, az ammónium iont a sejt nem képes felvenni
- Önstabilizáló mechanizmus: ammónium gátlás -> VFA felhamozódás



Technológiai szempontból: C/N arány

- Ideális: 25 – 32
  - Magasabb: nitrogén limit
  - Alacsonyabb: ammónia inhibíció



17



## Alkalmazás

Helyei:

1. Kommunális szennyvíz tisztítóknban keletkező iszap kezelése
2. Magas szervesanyag-tartalmú ipari szennyvizek kezelése
3. Állati eredetű hulladékok (trágyák) kezelése
4. Kommunális szilárd hulladék szerves frakciójának (OFMSW – Organic Fraction of Municipal Solid Waste) kezelése illetve depóniagáz

Minden esetben fő cél a hulladék kezelés, azonban emellett:

- Értékesíthető zöld energia keletkezik, valamint
- A nyomelemek körforgása is megmarad, ugyanis a melléktermék jó minőségű komposzt.



18



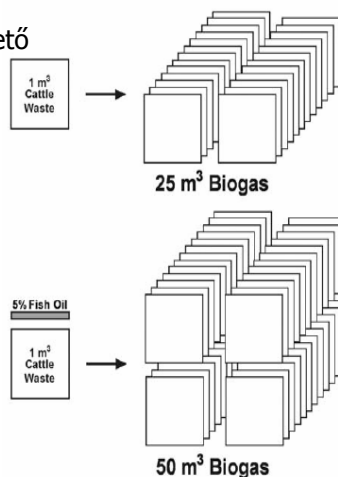
## Szubsztrátok



## Együttes erjesztés

Sok esetben a biogáz kihozatal növelhető egyéb szerves anyag hozzáadásával. Legtöbbször hígtrágyát egészítenek ki, mivel így:

- A mikroba közösség adott
- Az alacsony szárazanyag tartalmú (3-6%) trágya jó közeg szárazabb szubsztrátok szuszpendálásához
- A trágya pufferkapacitása jó
- Magas a tápanyag és nitrogén tartalma, ami egyéb szubsztráttal kiegészítve viszont ideális C/N arányt eredményezhet



Ahring, B. K.  
Perspectives for anaerobic digestion  
*Adv Biochem Eng Biotechnol*, 2003, 81: 1-30





## Együttes erjesztés

### Előnyök

- Jobb C/N/P arány
- Több biogáz termelés
- Megújuló biomassza hasznosítás
- Melléktermékek minősége is javul
- Optimálisabb reológiai tulajdonságok
- Kellemetlen szaghatások csökkentése

### Hátrányok

- Megnövekedett hozzáadott, és így elfolyó KOI is
- Kiegészítő előkezelések szükségesek lehetnek
- Keverési igények
- Higiénés előírások



21



## Biogáz hozam

Subsztrát	m <sup>3</sup> /t szárazanyag
Betakarítási maradékok	170-500
Trágyák	200-650
Piaci hulladék	500-600
Szennyvíziszap	250-350



22



## Szennyvizek kezelése

Főbb területek:

- Élelmiszer ipar (gyümölcs feldolgozás, olaj préselés, tejipar, hús feldolgozás, cukorgyártás, fermentációs ágak)
- Papír- és cellulózipar
- Textilipar

Noha iparágakon belül előfordulhatnak speciális gátló hatású vegyületek, alkalmazásukat az teszi lehetővé, hogy adott egységből érkező szennyvíz azonos összetételű.

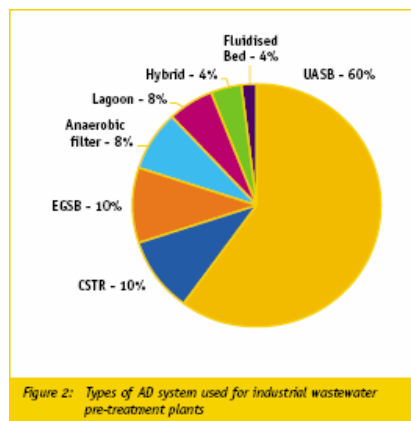


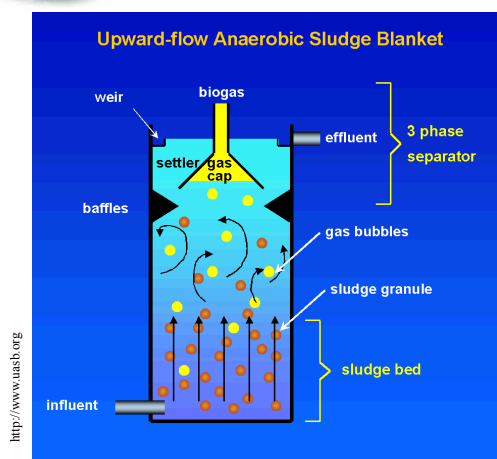
Figure 2: Types of AD system used for industrial wastewater pre-treatment plants

Biogas and more! – Systems and market overview of anaerobic digestion  
IEA Bioenergy, 2001

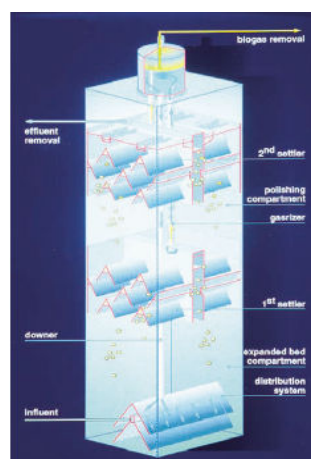


## UASB

### UASB

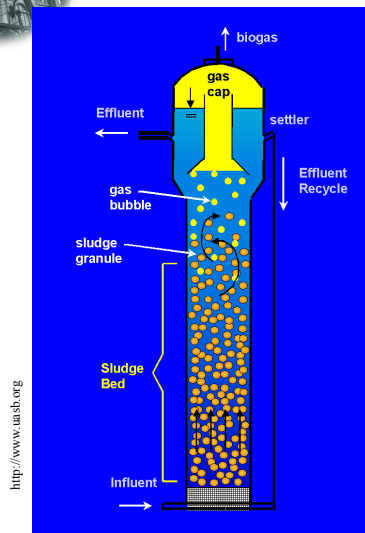


<http://www.uasb.org>



Biogas production and utilisation, IEA Bioenergy, 2005





## EGSB – Expanded Granular Sludge Bed

- UASB variáció
- Nagyobb áramlási sebesség
- Részleges fluidizáció miatt jobb érintkezés
- Nagy szervesanyag terhelés:
  - UASB 10 kg KOI/m<sup>3</sup>
  - EGSB 20 kg KOI/m<sup>3</sup>



# Technológia

## Csoportosítás

Folyamatos egy lépcsős  
Folyamatos két lépcsős  
Szakaszos

Típus szerint

Termofil  
Mezofil

Farm – Németország több ezer  
Centralizált – Dánia 22 db

Kis szárazanyag tartalmú  
Nagy szárazanyag tartalmú





## Paraméterek - HRT

### HRT – hydraulic retention time

$$\text{HRT} = \frac{\text{reaktor hasznos térfogat}}{\text{napi betáp}} = \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3/\text{nap}} = \text{nap} \right]$$

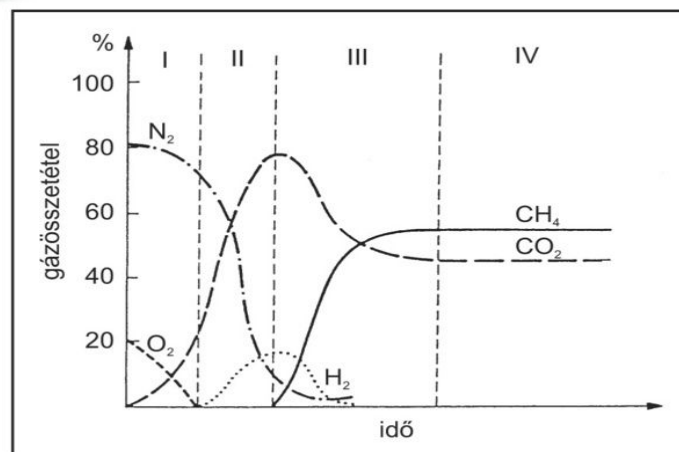
- az átlagos idő, amit a szubsztrát a reaktorban tölt
- általában úgy választják meg, hogy a szubsztrát teljesen elbomoljon
- nem lehet kisebb, mint a baktériumok generációs ideje
- 12 – 40 nap közt



27



## Szakaszok

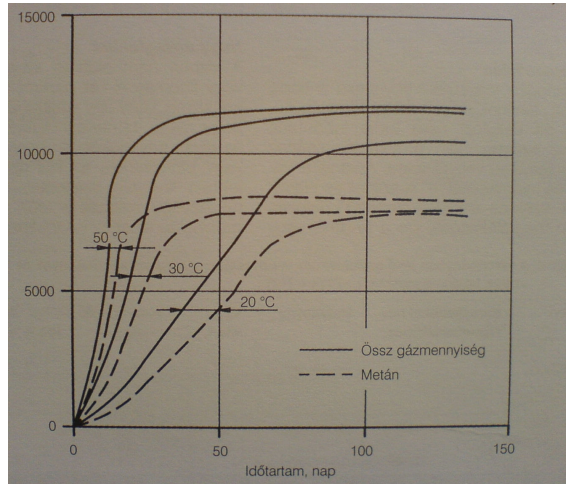


28

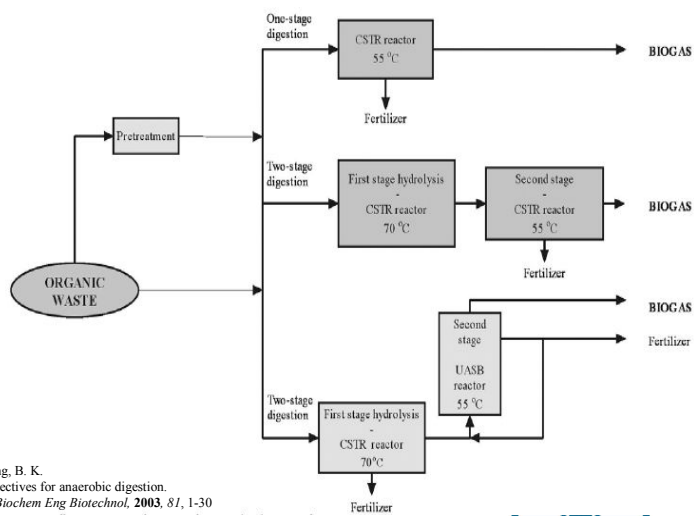


## Paraméterek - hőmérséklet

- Mezofil hőmérséklet:  
20 – 45 °C, általában:  
37 °C
- Termofil hőmérséklet:  
50 – 65 °C, általában:  
55 °C



## Kivitelezés



Ahring, B. K.  
Perspectives for anaerobic digestion.  
*Adv Biochem Eng Biotechnol*, 2003, 81, 1-30





## Fedett medence



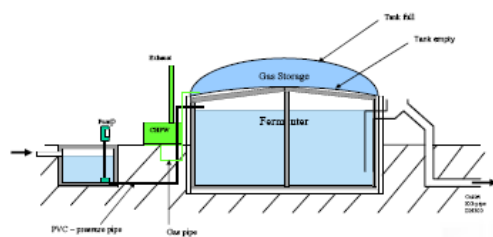
<http://www.renovatlenengworld.com>



31



## Kevert reaktor – CSRT



- Legegyszerűbb megoldás
- Membránnal fedve – egyben tárol is
- HRT: hetek, hónapok
- Egy lépcsős, szakaszos



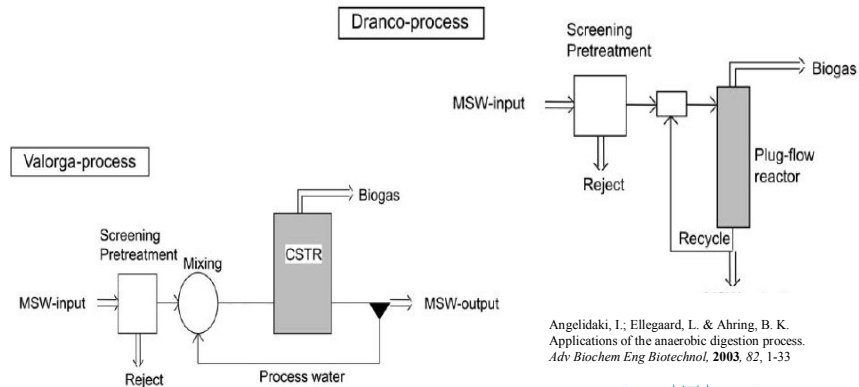
32





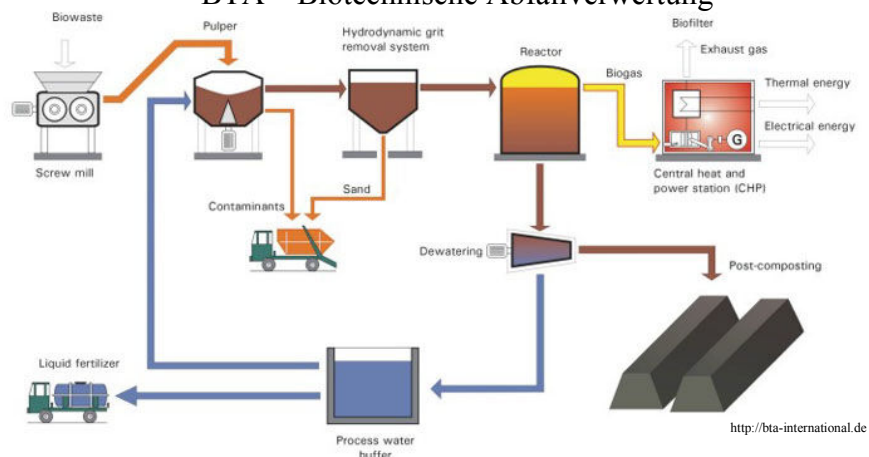
## Félszáraz és száraz folyamatok

- Trágya szárazanyag: 6-9%
- Félszáraz és száraz technológiák: 20-30%, vagy több



## A BTA folyamat (egy lépcsős)

### BTA – Biotechnische Abfallverwertung



Lépések: előkezelés – erjesztés – gáz és iszap hasznosítás





## Előkezelés

### Céljai

- nem biodegradálható és/vagy veszélyes komponensek eltávolítása (fém, kő, üveg, műanyag)
- aprítás
- speciális szubsztrátok esetén fertőtlenítés – EU irányelv alapján



35



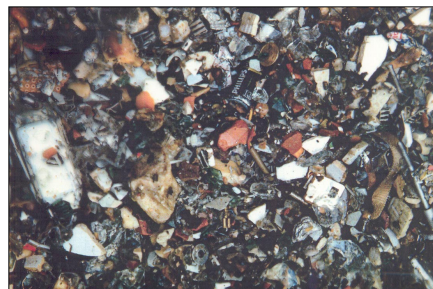
## Hydropulper

### Könnyű frakció



műanyag, textil...

### Nehéz frakció

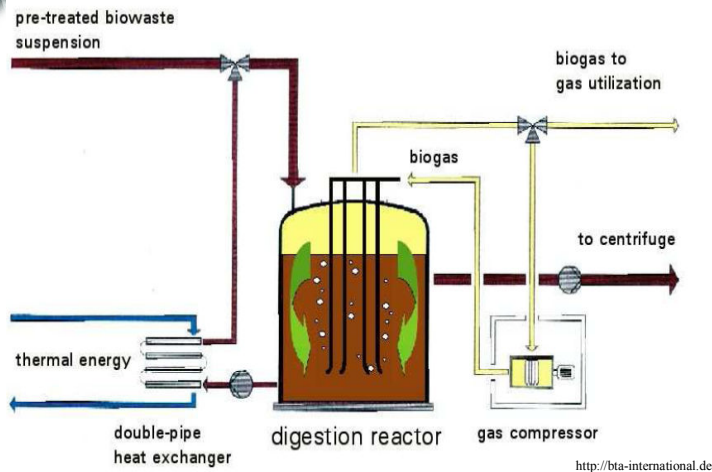


üveg, fém, kő, elem...



36

# Erjesztés



Toronto, Canada  
25.000 t/a Biowaste  
In operation since 2002



<http://bta-international.de>

- Mühlheim, Németo. 2003
- Ypres, Belgium, 2003
- Ko-Sung, Korea, 2003
- Villacidro, Olaszo. 2002
- Első: Helsingor, Dánia, 1991





## Biogáz összetétele

Összetevő		Földgáz	Biogáz
Metán	tf%	91	55-70
C <sub>2</sub> - C <sub>5</sub> alkánok	tf%	8,1	0
CO <sub>2</sub>	tf%	0,61	30-45
N <sub>2</sub>	tf%	0,32	0-2
H <sub>2</sub>	tf%	0	0
H <sub>2</sub> S	ppm	kb. 1	kb. 500
NH <sub>3</sub>	ppm	0	kb. 100
Nedvesség		harmatpont: -10°C	telített
Fűtőérték	MJ/m <sup>3</sup>	32-35	20-28



39



## Gáz tisztítás 1.

### Eltávolítandó komponensek

- CO<sub>2</sub>: biogáz fűtőértékét rontja
- H<sub>2</sub>S: mérgező, korrozív, égésterméke (SO<sub>2</sub>) is veszélyes
- NH<sub>3</sub>: elégetésével nitrózus gázok keletkeznek
- H<sub>2</sub>O: előző három vegyülettel keverve korrozív hatás
- Sziloxánok (csak depónia): üvegszerű bevonatot képez



40



## Gáz tisztítás 2.

BIOGAS UTILISATION	WATER	H <sub>2</sub> S	DUST	CO <sub>2</sub>
Direct heating (gas boilers/burners)	+	+ <sup>1)</sup>	+	-
Electricity (gas engine)	+	+ <sup>1)</sup>	+	+/- <sup>2)</sup>
Upgrade for natural gas	+	+	+	+

<sup>1)</sup> removal required if input limits are exceeded

<sup>2)</sup> dependent of CO<sub>2</sub> content biogas and manufacturers specification.

Melyik szennyezőt és milyen mértékben távolítjuk el az a felhasználás és előírások függvénye.



## Víz eltávolítás

### Víz eltávolítás

(hab és por is)

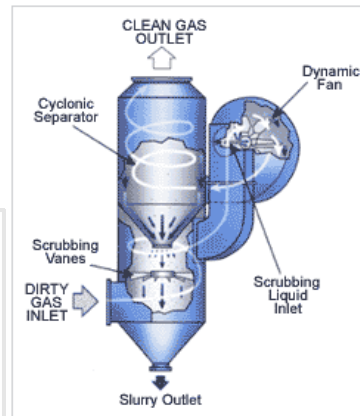
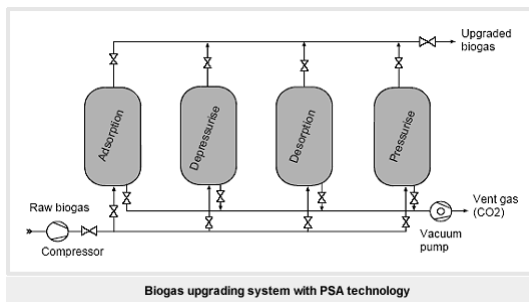
- Kondenzációs technikák: páratlanító, ciklon, nedvesség csapda, csap
- Szárítósos technikák: hideg szárítás, adszorpciós szárítás, glikolos szárítás





## Széndioxid

- Vizes vagy polietilén glikolos mosás (wet scrubbing)
- PSA (Pressure Swing Adsorption) molekula szűrők
- Membrán alkalmazás



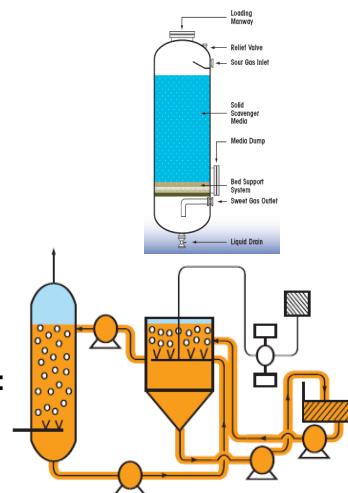
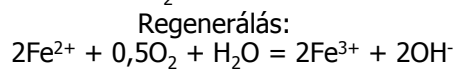
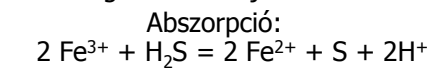
43



## Kénhidrogén

### Fizikai-kémiai

- Vas(III)-klorid adagolás:  
 $2 \text{Fe}^{3+} + 3 \text{S}^{2-} \rightarrow 2 \text{FeS} + \text{S}$
- Adszorpció
  - „Iron sponge” hidratált vas(III)-oxid faapríték hordozón
  - Megkötés:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{Fe}_2\text{S}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$
  - Regenerálás:  $2 \text{Fe}_2\text{S}_3 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{Fe}_2\text{O}_3 + 6 \text{S}$
  - Sulfur-Rite® - piritté ( $\text{FeS}_2$ ) alakítja
- Elnyelés folyadékban: lúg
- Lo-Cat®: gázmosó majd oxidáció kénné:



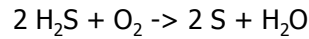
44



## Kénhidrogén eltávolítás

Biológiai – *Thiobacillus* nemzetség:

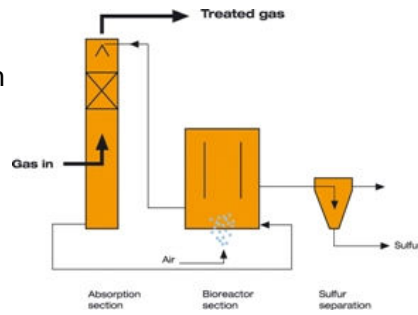
- Képesek a kénhidrogént elemi kéné oxidálni sztöchiometrikus O<sub>2</sub>-vel:



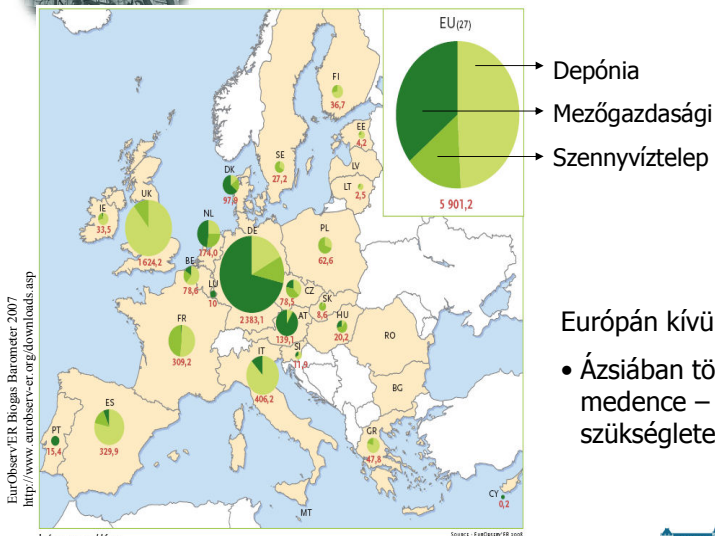
- Autotróf és jelen van a közösségben

Alkalmazás

- Reaktor légterében 2-5% levegő, valamint rudakon kialakított tenyészetek
- Biofilterek
- Thiopaq® - lúgos mosás után a mosóvíz bioreaktorba vezetése



## Elterjedés és felhasználás



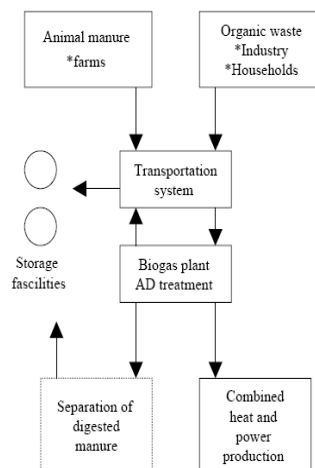
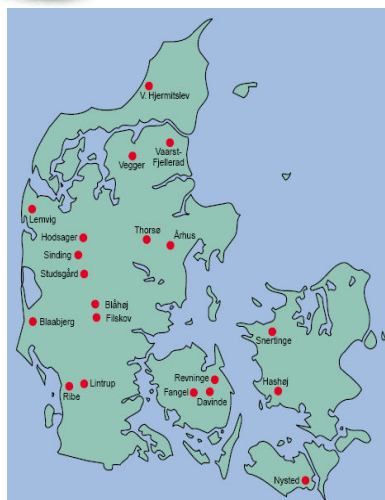
Európán kívül:

- Ázsiában több millió fedett medence – háztartás hő szükséglete





## Dánia – centralizált

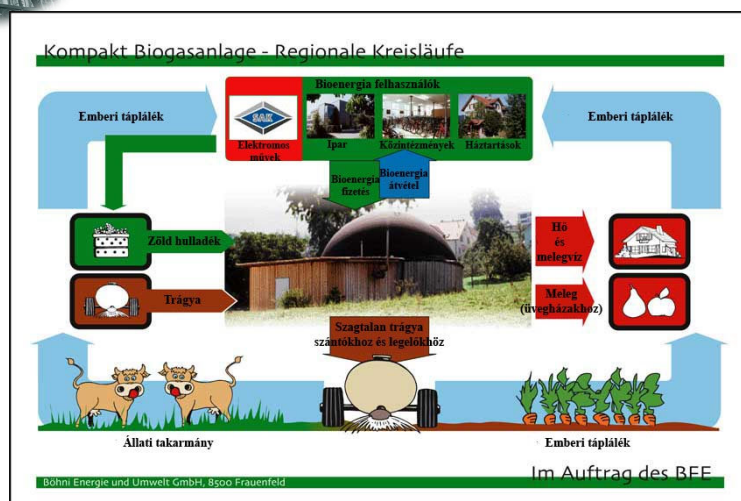


M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

47



## Németország – farmszintű



Böhni Energie und Umwelt GmbH, 8500 Frauenfeld

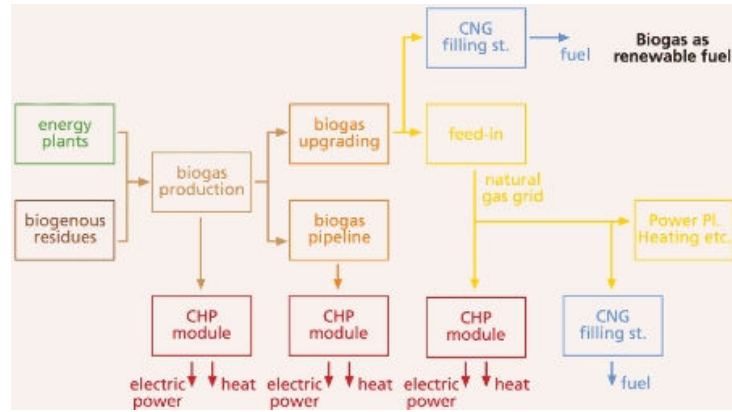
M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

48





## Gáz hasznosítás 1.

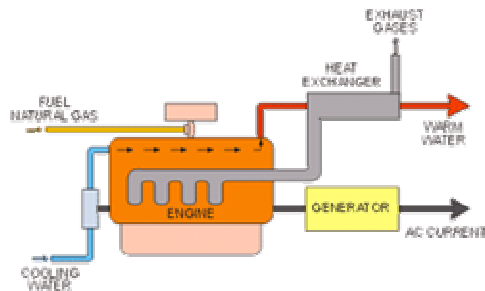


49



## Németország – CHP

### CHP – Combined Heat and Power Plant



- 60 kWe – 2 MWe teljesítmény
- Németországban több mint 4000 biogáz üzemben, átlag 7500 óra/év működéssel
- A hőnek csak 10-40%-a szükséges az erjesztés hőmérsékletének fenntartására



50

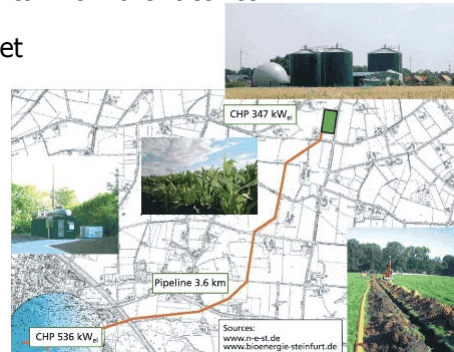


## Hőhasznosítás

A maradék hő teljes körű hasznosítása azonban sokszor problémás, mivel a biogáz üzemek általában városon, messze ipari központoktól és távhő hálózatoktól.

Németországban három lehetőséget vizsgálunk:

1. Új vidéki távhő hálózatok – „bioenergia falu” Jühnde
2. Biogáz vezeték – Steinfurt
3. Biogáz tisztítás – „upgrade”: svéd példa, CNG a közlekedésben



MŰEGYETEM 1782

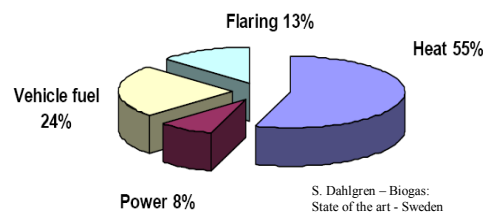
51



## Svédország – közlekedés

Összesen 233 biogáz üzem (2007):

- Szennyvíziszap kezelés: 139
- Depóniagáz: 70
- Ipari szennyvíz: 4
- Együttes erjesztés: 13
- Farm: 7



Betápláláshoz és üzemanyagként tiszta, szabványoknak megfelelő gáz szükséges, ezért Svédországban 38 (2008) biogáz tisztító egység üzemel:

- Kémiai abszorpció (Cooab): 3
- PSA: 7
- Vizes mosó: 28
- Kriogén szeparáció: 1 tervben

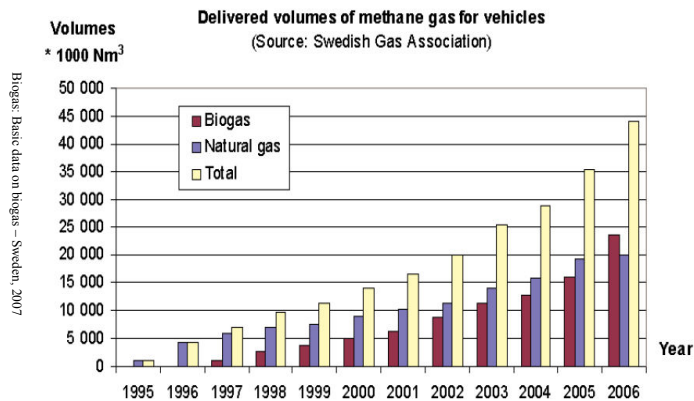
MŰEGYETEM 1782

52



## Svédország - közlekedés

A svéd gázzal hajtott járművek már nagyobb arányban használnak biogázt, mint földgázt!



53



## Svédország – közlekedés

Sok városban főleg a tömegközlekedést részben vagy egészben helyezték biogáz alapúra illetve töltőállomásokon lehet biogázt kapni.

Emellett a tisztított biogázt a földgáz hálózatba is betáplálják.



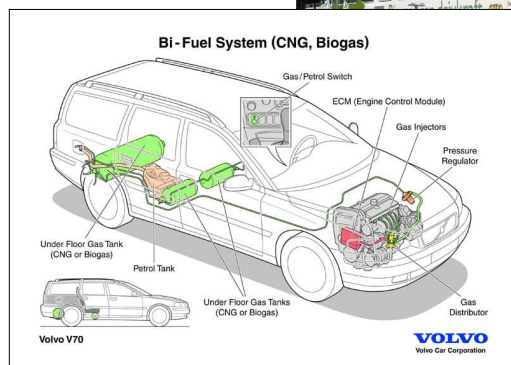
S. Dahlgren – Biogas:  
State of the art - Sweden



54



## Közlekedés



55



## Gáz hasznosítás 5.

### Speciális használat

- Légkondicionálás/fűtés
- Üvegházak: az eltávolított CO<sub>2</sub> felhasználása (üvegház hatás)



56



## Melléktermékek

### Kierjesztett iszap

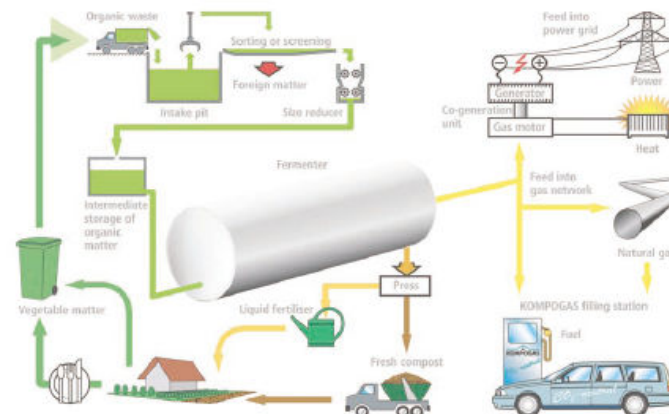
- Víztelenítés után két frakció: komposzt és trágyalé
- Magas tápanyag tartalom (N, P, K...)
- Mezőgazdasági eredetű: fertőző vagy antibiotikumok, gyommagvak
- Ipari és kommunális eredetű: aromás, alifás és halogénezett vegyületek
- Disznó trágya: Cu és Zn sók (gyakran keverik a disznótápra ezeket a sókat, bizonyos betegségek megelőzése miatt)



57



## Összefoglaló 1.



58



## Összefoglaló 2.

### Előnyök

- Természetes hulladék kezelési technológia
- Kisebb terület szükséges hozzá, mint a lerakáshoz vagy az aerob komposztáláshoz
- Csökkenti a lerakókba kerülő hulladékok mennyiségét
- Energia termelő folyamat
- A végtermék értékes megújuló üzemanyag
- Biogáz sokféleképp hasznosítható
- Csökkenti a CO<sub>2</sub> és CH<sub>4</sub> kibocsátást
- Kizárja a kellemetlen szagokat
- Komposzt és trágyalé termelés
- Maximális újrahasznosítás
- Költségtakarékos

### Hátrányok

- Szállítás
- Egészségügyi és biztonsági aggályok
- Tűz és robbanásveszély



59



Köszönöm a  
figyelmet!

**BIOGÁZ**  
←



60