

# Az anaerob iszapkezelésben rejlő energia-termelési és hasznosítási lehetőségek

Palkó György – Oláh József – Szilágyi Mihály FCSM Rt.

## 1. Bevezetés

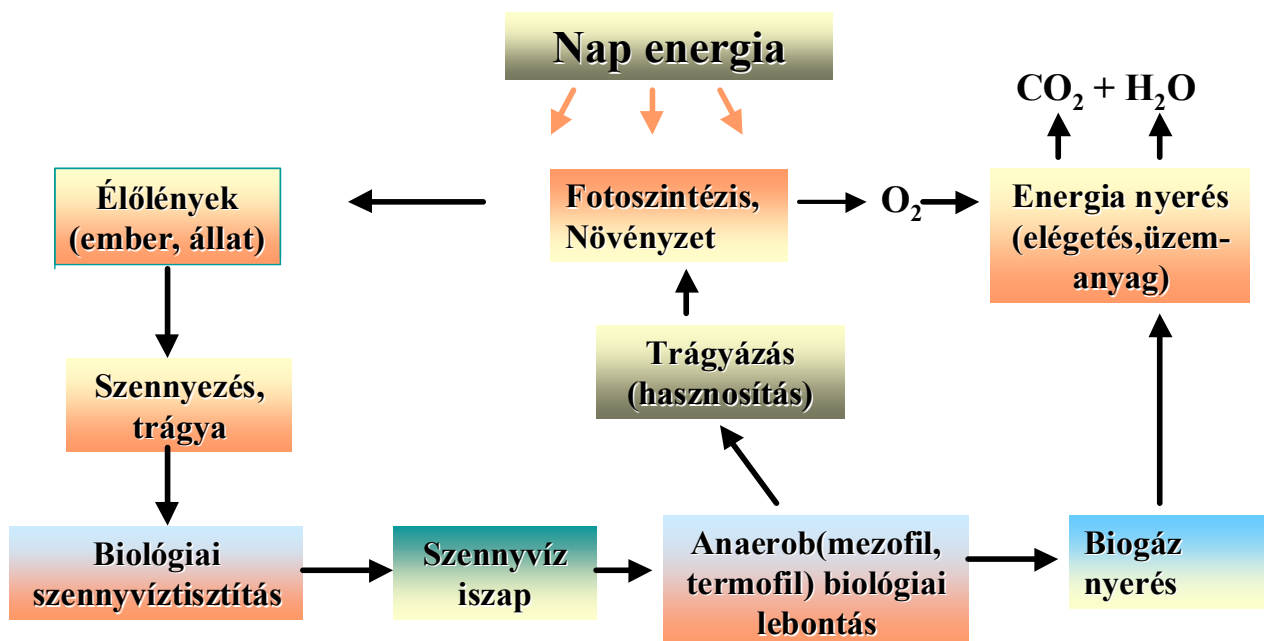
Az energia szükségletek növekedésével a fosszilis tüzelőanyagok (szén, kőolaj, földgáz) csökkenése áll szemben. A világ jövőbeni energiaellátásában a korlátlanul rendelkezésre álló Nap-energia (sugárzási energia) jut döntő szerephez. Fotokémiailag biomasszában (mezőgazdasági hulladék) tárolt energiát anaerob fermentációval biogáz formájában felhasználhatóvá tehetjük. Az energianyerés másik útja, hogy szennyvíztisztításból és egyéb gazdasági tevékenységből (élelmiszer-ipar) származó hulladékok anaerob kezelésével biogázt állítunk elő. A természetes tápanyag körforgás és a biogáz nyelés kapcsolatát az **1. ábra** mutatja be

## 2. Az anaerob fermentáció tápanyag szükséglete:

Az anaerob (mezofil, termofil) lebontáshoz szükséges tápanyagokat a hulladékok (szennyvíz iszap, növényi és állati-eredetű anyagok, egyéb szerves-anyagok) általában tartalmazzák. Ezek a tápanyagok az alábbiak:

- Szénhidrátok (poliszaharidok, oligoszaharidok, monoszaharidok)
- Zsírok (trigliceridek, zsírsavak: ecetsav, propionsav, vajsav)
- Fehérjéket alkotó komplex óriás molekulák, melyek alkotó elemei: szén (50-55%), hidrogén (6,6 - 7,3 %), oxigén (19 - 24 %), nitrogén (15 - 9 %), kén (0,3 - 2,4 %)
- Szervetlen fém ionok (Fe, Ca; Mg; Mn; Co stb.)

Minden természetes eredetű szerves-anyag, amely a fenti összetevőkkel rendelkezik anaerob körülmények között bakteriális úton széndioxidá és metánná alakítható át.



1. ábra Biogáz nyelés a természetes tápanyag-körforgásban

### 3. Az anaerob lebontás folyamata

Az anaerob rothasztást általában kétlépcsős folyamatnak tekintik, amelynek az első lépcsője a savképzés, a második lépcső pedig a gázképzés. A hidrolízis folyamatát nem tekinthetjük önálló lépcsőnek, mert az a savképződéssel együtt játszódik le. Legalább két, fiziológiai szempontból különböző baktérium populációt kell feltételezni. Az első lépés során a mikroorganizmusoknak egy heterogén csoportja a fehérjéket, szénhidrátokat és a zsírszerű anyagokat zsírsavakká alakítja át hidrolízis és ezt követő fermentációs folyamatok útján.

A második lépcsőben az első lépcső végtermékeit a baktériumoknak egy egységes és szigorúan anaerob csoportja, az úgynevezett metán-baktériumok, metánná és széndioxiddá alakítják.

### 4. Az anaerob rothasztás célja

A termofil és a mezofil anaerob rothasztás célja közös, a két eljárás csak a technológiai megvalósításban különbözik. Az általános célokat a következőkben lehet összefoglalni:

- Előállítani olyan anyagot, mely biológiailag stabil, ne legyen rothadó képes. Az anaerob kezelés után keletkező iszap a mezőgazdaságban és rekultivációban jól felhasználható.
- Hasznosítani a szennyvízkezelés során keletkező iszapban rejlő energiát
- Csökkenni a végleges elhelyezésre szoruló iszap tömegét és térfogatát
- Javítani az iszap vízleadó képességét
- A szennyvízkezelő rendszeren belül létesítsünk egy olyan puffer egységet, amely képes a szennyvíztelepen keletkező változó tömegű iszapot befogadni.
- Csökkentsük a végső elhelyezésre szánt iszap fertőző-képességét.

### 5. A mezofil és a termofil anaerob összehasonlítása

A tápanyagok mezofil és termofil anaerob folyamattal egyaránt lebonthatók és a felhasználható végtermék metán és széndioxid tartalmú biogáz. Európában, a gyakorlatban a rothasztók nagy része mezofil tartományban (33 – 35 °C) üzemel, azonban az elmúlt 10 évben termofil (50 – 55 °C) rothasztók is épültek. A termofil rothasztó berendezésekkel szerzett üzemelési tapasztalatok (gázfejlődés, stabilitás, iszap-vízteleníthetőség, habzás, szag stb.) nagyon pozitívak. A pozitív üzemelési tapasztalatok a jövőben a termofil rothasztók építését elősegítik és a kételkedő üzemeltetőket az egyértelmű előnyök, meggyőzik. Az 1. táblázatban összehasonlítottuk a mezofil és a termofil anaerob rendszer üzemi paramétereit. Szembetűnő, hogy a tartózkodási idő csak kb. harmada a mezofil rendszernél szükséges tartózkodási időnek. A termofil folyamatnál a reakció sebesség nagyobb, viszont a sejthozam állandó kisebb, mint a mezofil tartományban. A látszólagos ellentmondást a magasabb hőmérsékleten végbemenő bio-degradációval és ehhez a hőmérséklethez speciálisan szelektálódott metán-termelő baktériumok jelenlétével lehet magyarázni.

1. táblázat. A mezofil és a termofil anaerob rendszer üzemi paramétereinek összehasonlítása

| A paraméter megnevezése   | Mezofil        | Termofil       |
|---|----------------|----------------|
| pH (-)  | 7,2 – 8,0      | 7,2 – 8,5      |
| Hőmérséklet (°C)  | 30 – 35        | 50 - 57        |
| Hőmérséklet-ingadozás, melyet a rendszer elvisel (°C)                                 | ~ 3 - 5        | ~ 1 - 2        |
| Sejthozam állandó ( $\text{kg}_{\text{szervesa.}}/\text{kg}_{\text{lebontott KOI}}$ ) | 0,15 – 0,30    | 0,01 – 0,10    |
| Elektród potenciál értéke (mV)  | - 450 és - 550 | - 550 és - 600 |
| Optimális redox potenciál értéke (mV)   | - 520 és - 530 | Nincs adat     |
| Terhelés szennyvíz iszapoknál:  |                |                |
| • Kis-terhelés ( $\text{kg}_{\text{szervesa.}}/\text{m}^3 \text{ d}$ )                | 0,6 – 1,6      | 3,0 – 8,0      |

|  |             |             |
|--|-------------|-------------|
| • Nagy terhelés (kg <sub>szervesa</sub> /m <sup>3</sup> d) | 2,4 – 6,4   | 8,0 – 30,0  |
| Hidraulikus tartózkodási idő (nap)                         | 15 - 25     | 3 - 10      |
| Elérhető KOI csökkenés (%)                                 | 65 - 85     | 85 - 95     |
| Elérhető BOI <sub>5</sub> csökkenés (%)                    | 60 - 80     | 80 - 90     |
| Elérhető szerves-anyag csökkenés (%)                       | 45 – 55     | 55 - 70     |
| Biogáz termelés (Nm <sup>3</sup> /kg KOI eltáv.)           | 0,31 – 0,38 | 0,62 – 0,76 |
| Biogáz metán tartalma (%)                                  | 60 - 70     | 80 - 90     |

A termofil rothasztás legnagyobb előnye a mezofil rendszerrel szemben az, hogy a nagyobb reakció sebesség miatt kisebb reaktorteret kell építeni és a kezelt iszapban a patogén baktériumok pusztulása lényegesen nagyobb fokú, mint a mezofil folyamatban. Leggyakrabban első rothasztási lépcsőként a termofil rendszert alkalmazzák, majd ezt követi egy mezofil rothasztó. Általában a termofil rothasztásnál az iszapkor 3 – 5 nap, majd ezt követő mezofil lépcsőben 10 nap körüli iszapkort alkalmaznak. Az ily módon kialakított anaerob rendszer a szerves-anyagok nagyfokú lebontását teszi lehetővé.

A mezofil és a termofil rothasztás összehasonlítását a 2/1 és a 2/2. táblázat mutatja. A mezofil és termofil rendszer összehasonlításánál a termofil rendszerrel határozottan előnyként jelentkezik a szükséges kisebb reaktor térfogat és a patogén baktériumok hatékony elpusztítása. Hátrányként lehet megemlíteni, hogy a termofil rothasztás érzékeny a szubsztrát minőségének és a hőmérséklet változására. A mezofil rendszer a toxikus anyagokra kevésbé érzékeny, mint termofil rothasztó.

**2/1. táblázat A mezofil és a termofil rothasztás összehasonlítása**

| <b>Az anaerob rothasztás előnyei</b>   |   |
|--|---|
| <i>Mezofil (aerob és a kémiai kondicionáláshoz viszonyítva)</i>                          | <i>Termofil (mezofil rendszerhez viszonyítva)</i>                       |
| Csökken a végleges elhelyezésre szoruló iszap mennyisége                                 | Azonos reaktor térfogatot véve alapul növekszik a stabilizáló kapacitás |
| Javul az iszap vízleadó képessége  | Az iszap vízteleníthetősége javul                                       |
| A rothasztó berendezés a szennyvíz telepen belül pufferoló egységet képez                | A patogén baktériumok pusztulási aránya nő                              |
| Stabilizálódik a szervesanyag, miközben értékes termékeket (gáz, trágya) állítunk elő    | Nagyobb a gázhozam és a gáz metán tartalma is növekszik                 |
| Csökken az iszap fertőző képessége (patogén és parazita szervezetek egy része elpusztul) |   |

**2/2. táblázat A mezofil és a termofil rothasztás összehasonlítása**

| <b>Az anaerob rothasztás hátrányai</b>  |  |
|---|--|
| <i>Mezofil (aerob és kémiai kondicionáláshoz viszonyítva)</i>                           | <i>Termofil (mezofil rendszerhez viszonyítva)</i>  |
| Nagy tartózkodási idő (> 15 nap) miatt nagy reaktor térfogat szükséges                  | Nagyobb a fűtési energia szükséglet  |
| A hidrolízis következtében növekszik az iszapvíz KOI, ammónia és foszfor koncentrációja | Nagyobb hőfok miatt, a maradék hidrolízis termékek hatására a dekantált iszap víz minősége rosszabb          |
| Nagy reaktor térfogat miatt jelentős a beruházási költség                               | A folyamat hőmérséklet változására érzékenyebb, mint a mezofil rendszer, ezért a folyamat stabilitása kisebb |

|  |   |
|--|---|
| Toxikus hatású szerves anyagok és nehézfémek bizonytalanná teszik a folyamatot | A hőmérséklet változására a folyamat érzékeny, ezért lassú a bedolgozás (hőmérséklet-emelés: +1°C/nap)                                |
|  | Nagyobb hőcserélő szükséges, mert a hőmérséklet pontos tartása végett ugyanazon iszap mennyiséget rövid idő alatt kell felmelegíteni. |
|  | A keletkező iszap bűzös (szkatol, indol vegyületek)   |
|  | Toxikus anyagok hatására feltehetően érzékenyebb a termofil rendszer, mint a mezofil  |

## 6. Anaerob és egyéb eljárások kombinációi

### *Egyfokozatú termofil anaerob eljárás*

Zömmel állattartó telepek hígtrágyáinak (marha, sertés) kezelésére alkalmazzák. Európában a rothasztók 86,7 %-a mezofil, 8,3%-a termofil és 5,0 %-a pszichofil. Termofil rothasztókat Dániában és Svédországban az állattartó telepek hígtrágyáinak kezelésére alkalmazzák előszeretettel. A termofil rendszer 10 –15-szer nagyobb terhelést elvisel, mint a mezofil rendszer.

### *Kétfokozatú termofil anaerob és mezofil anaerob eljárás*

Néhány tanulmány ismertet ilyen technológiai kialakítást. Az első termofil lépcsőnél a hidraulikus tartózkodási idő 2 – 5 nap, majd az ezt követő mezofil fokozatnál 12 – 15 napos tartózkodási időt alkalmaznak. A két fokozat együttes szervesanyag lebontási hatásfoka ~50 – 65 %. Ez a hatásfok nagyon jó eredménynek számít. A termofil fokozat elő-hidrolizálja és részben lebontja a komplex tápanyagot, majd a lebontást a második (mezofil) fokozat fejezi be. Tehát a két eljárás összeházasításával összességében kisebb reaktor térfogat szükséges, továbbá stabil jól vízteleníthető iszap képződik, és nagyobb gáz kitermeléssel is számolhatunk (0,45 – 0,50 m<sup>3</sup>/kg betáplált szervesanyag-ra vonatk.).

### *Termofil aerob és mezofil anaerob eljárás kombinációja*

A termofil aerob eljárást, mint első biológiai fokozatot alkalmazzák. Levegőbevitel mellett 60 °C hőmérsékletet lehet elérni 5 – 6 napos tartózkodási idő mellett. Energia felhasználás 12 – 20 KWh/m<sup>3</sup>. A szervesanyag csökkenés az aerob fokozatban 35 – 40 % körül várható. A termofil aerob fokozatot követi a mezofil anaerob fokozat. Nagyon fontos, hogy a kezelendő szennyvíz nagy koncentrációban tartalmazzon könnyen-bontható szervesanyagot. Szennyvíziszapra nem ajánlatos az eljárást alkalmazni, mert nagy a lebegőanyag tartalom miatt a hidrolízis folyamata kicsiny ahhoz, hogy a folyamat jó hatásfokkal végbemenjen. A technológiát az állattartó telepek trágyájának kezelésére alkalmazzák.

### *Mezofil anaerob savas fázis és mezofil anaerob metános fázis alkalmazása*

Általánosan alkalmazott, legegyszerűbb megoldás. Savas fázisban nagy mennyiségű illósav (> 2 000 mg/l) és egyéb hidrolízis termékek (kisebb molekulájú termékek: szabad aminosav, szénhidrát és fehérje származékok) képződnek. Ezeket a termékeket a metános mezofil fázis szubsztrátként használja fel. Savas fázis tartózkodási ideje 2 – 5 nap, terhelés 20 – 40 kgszervesa./m<sup>3</sup>nap. Ezt követi a hagyományos mezofil metános fázis 15 – 20 napos tartózkodási idővel. Kb. 15 - 20 % - os gázfejlődés növekedés várható.

## 7. Biogáz termelésre alkalmas hulladék fajták jellemzése

Anaerob úton a legtöbb élelmiszeripari (zsír, olaj, éttermi moslék, baromfi, vágóhíd, tej, söripar, szörp, keményítő, fehérje alapú takarmány stb.), cellulóz alapú (fű, papíripar) és gyógyszergyári eredetű (fermentációs jellegű) hulladék lebontható. A 2. táblázatban néhány

hulladék-fajta anaerob lebontása során várható biogáz hozamokat tüntettük fel. A legnagyobb gázhozam a zsírszerű hulladékok degradációja során várható.

**2. táblázat Különböző eredetű hulladékok anaerob lebontása során várható biogáz képződési értékek**

| A hulladék-fajta megnevezése | Fajlagos biogáz gázfejlődés a betáplált anyagra vonatkoztatva (Nm <sup>3</sup> /kg) | Fajlagos biogáz gázfejlődés a lebontott anyagra vonatkoztatva (Nm <sup>3</sup> /kg) |
|------------------------------|---|---|
| KOI (általában)              | 0,46  | 0,62 – 0,76   |
| Zsír                         | 0,72  | 1,12 - 1,43   |
| Főző olaj                    | 0,60  | -   |
| Aprított fa kéreg            | 0,20  | -   |
| Sertés trágya                | 0,30  | -   |
| Sörgyári-iszap               | 0,75  | -   |
| Tejipari hulladék            | 0,55  | -   |
| Zöld hulladék                | 0,48  | -   |
| Konyhai hulladék             | 0,22  | -   |
| Nyers iszap                  | 0,5 – 0,75  | 0,8 – 1,0   |
| Fölös eleveniszap            | 0,35 - 0,46   | 0,75 – 0,85   |
| Fehérje hulladék             | -   | 0,74  |
| Szénhidrát                   | -   | 0,83  |

### 8. Termofil anaerob rothasztással szerzett üzemi tapasztalatok értékelése

A növekvő iszaplerakási költségek nagymértékben fokozták a dániai szennyvíztisztító telepeken az iszap mennyiségének további csökkentési igényét. Az üzemelő mezofil rothasztók termofil üzem-módra történő átállításával a fenti cél elérhető, sőt e mellett a termofil rothasztás jelentős energia nyereséget biztosít. Az USA-ban már a 1980-as évek óta üzemelnek termofil rothasztó berendezések. Európában az elmúlt 10 év alatt a termofil rothasztás új lendületet kapott. Így pl. Dániában 8 db. termofil rothasztó üzemel és jelenleg 5 pedig kivitelezés alatt áll.

Dániában a termofil eljárással kezelt iszapok higiéniai eredményeiről *Nielsen és Petersen (1999)* számolt be. A 3. táblázat Holbæk dániai szennyvíztelep kezeletlen, mezofil és termofil úton kezelt eleveniszapjában mért Salmonella és Enterococci eredményeket mutatja be. Az adatok jól szemléltetik a termofil anaerob kezelés fertőtlenítő hatását. Termofil rothasztással ki lehet elégíteni az EPA „A” osztályú higiéniai előírását.

**3. táblázat Mezofil és termofil rothasztás során mért higiéniai minőségi adatok (Nielsen és Petersen, 1999, Dánia, Holbæk szennyvíztelep)**

| Megnevezés            | Eleveniszap rothasztás előtt | Mezofil módon rothasztott eleveniszap | Termofil módon rothasztott eleveniszap |
|-----------------------|------------------------------|---------------------------------------|--|
| Salmonella, CFU/100 g | 100 – 2 000                  | 100 – 250                             | < 2                                    |
| Enterococci, CFU/g    | 3 000 – 30 000               | 250 – 400                             | < 10                                   |

A prágai központi szennyvíztelepen Dohányos és m.társai (2000) a termofil rothasztóra rátáplált fölös eleveniszap pehelyszerkezetét előzetesen u.n. „lizis” centrifugával szétroncsolták és ennek következtében a metán kihozatal 11,5 – 31,3 %-kal növekedett. A

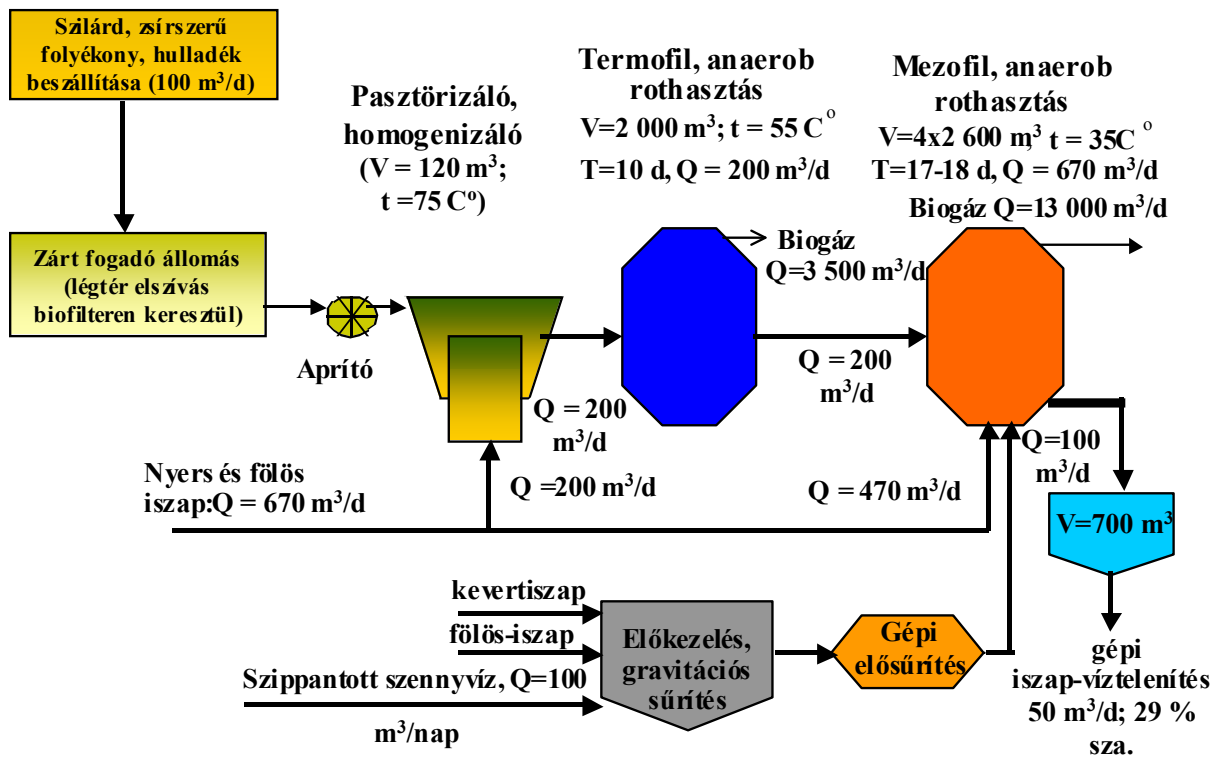
rothasztott iszap rövididejű hőkezelésével (60 sec; 170 °C; 0,8 Mpa) nyert „lizis” kivonat a nyersiszap rothasztása során a metán kihozatalt 35 – 49 %-kal növelte.

Közismert dolog, hogy anaerob körülmények esetében a hőmérséklet növelésével az oldott fázisban megjelenő ammónia-N koncentrációja növekedik. A mezofil (30 – 35 °C) tartományban az oldatban lévő összes-N 30 %-át ammónia-N adja, a termofil tartományban (50 – 55 °C) viszont az összes-N -nek 50 %-át ammónia képezi. A termofil rothasztást alkalmazó szennyvíztelepeknél a rothasztó iszapvíze által képviselt összes-N terhelés a szennyvízzel befolyó N terhelésnek 30 – 35%-át is kiteheti. A biológiai lépcső méretezésénél ezzel a plusz N terheléssel feltétlenül számolni kell.

## 9. A Dél-Pesti szennyvíztelepen kialakítandó anaerob hulladék-kezelő rendszer ismertetése

A Dél-Pesti szennyvíztelepen kialakított anaerob hulladék-kezelő rendszer elvi vázlatát a 2. ábra mutatja be. A szennyvíztelepen képződő nyers- és fölős iszap keverék (~ 500 m<sup>3</sup>/nap) mellett a szennyvíztelep 100 m<sup>3</sup>/nap szilárd, zsírszerű és folyékony hulladékot fogad. A hulladék beszállítása és fogadása egy zárt rendszerben történik. Az elszívott levegőt bioszűrővel tisztítják. A hulladékot aprítás után egy homogenizálási és pasztörizáló funkciót ellátó reaktorba (120 m<sup>3</sup>), majd ezt követően a pasztörizált anyagot a termofil rothasztóba táplálják .

### 2. ábra DÉL-PESTI SZENNYVÍZTELEP TERMOFIL - MEZOFIL ROTHASZTÁS TECHNOLÓGIAI VÁZLATA



A D-Pesti szennyvíz telepen jelenleg  $\sim 20$  t/nap szerves-anyag termofil és mezofil rothasztása során  $3500 + 13\,000 = 16\,500$  Nm<sup>3</sup>/nap biogáz képződik. Gyakorlatilag az összes gázt gázmotorral (hatásfok: 34,9 %) hasznosítják. A gázmotorral termelhető energia mennyisége  $16\,500$  Nm<sup>3</sup>/nap  $\times 6,11$  kWh/Nm<sup>3</sup>  $\times 0,349 = 35\,184$  kWh/nap. A szennyvíztelep energia igénye csúcsban  $\sim 40\,000$  kWh/nap, az átlagos energia igény  $\sim 34\,000$  kWh/nap. A jelenlegi tapasztalatok azt mutatják, hogy a beszállított zsírszerű hulladékok arányának növelésével a biogáz képződés még kb. 10 - 15 %-kal növelhető.

### Összefoglalás

- A termofil anaerob eljárás kényes egyensúlyi folyamat, mert a metán-termelésben résztvevő obligát metántermelő baktérium fajok száma lényegesen kisebb, mint a mezofil rendszerben. Ebből következik, hogy a rendszer hőmérséklet változására nagyon érzékeny és a metán-termelő baktériumok hozama csak kb. fele a mezofil tartomány sejt hozamának. A hőmérséklet érzékenységre jellemző, hogy a mezofil és a termofil tartomány között (40 – 50 °C) a gázfejlődésben minimum érték jelentkezik és az 55 °C optimális érték után a gázfejlődési görbe gyors letörést mutat.
- Egyelőre, a termofil rendszer alkalmazása nem terjedt el széles körben. Kétségtelen viszont, hogy a viszonylag kevés irodalmi hivatkozás a termofil rothasztást illetően nagyon pozitív tapasztalatokról számol be.

### Irodalom

*Metcalf & Eddy* (2003): Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Mc Graw Hill. Fourth edition, 991 – 992

*Nielsen, B., Petersen, G.*: Thermophilic anaerobic digestion and pasteurisation. Practical experience from danish wastewater treatment plants. Paper presented at the conference „Disposal and utilisation of sewage sludge: Treatment methods and application modalities” in Athens, Greece, October 13 – 15, 1999

*Dohanyos, M., Zábranská, J., Kutil, J., Jeniček, P.* (2004): Improvement of anaerobic digestion of sludge. Wat. Sci. And techn. Vol. 49. No. 10