

Anaerob rothasztók üzemének ellenőrzése biokémiai paraméterek alapján

Kardos Levente¹ – Palkó György² – Barkács Katalin¹ – Oláh József² – Záray Gyula¹
¹ ELTE TTK Környezettudományi Kooperációs Kutató Központ, ² Fővárosi Csatornázási Művek Zrt

Kulcsszavak: anaerob lebontás, dehidrogenáz-, lipáz-, proteáz enzimaktivitás, redoxipotenciál, biogáz

1. Bevezetés

Az anaerob fermentációt széles körben alkalmazzák szennyvíziszapok stabilizálására és nagy szerves anyag tartalmú szennyvizek tisztítására. Minden jól működő anaerob fermentor megegyezik abban, hogy benne a szerves anyag átalakul metán tartalmú biogázzá, amely energetikai felhasználása az adott telep számára meghatározó jelentőségű. Az egyes rothasztók hatásfoka, üzemeltetési egyensúlya azonban erősen különbözhet egymástól. A rothasztó üzemének jellegét meghatározza a szubsztrát, a reaktorban kialakult baktériumközösség, valamint egyéb tényezők, mint például a hőmérséklet, a terhelés, a tartózkodási idő, a keverés hatékonysága és a rothasztó tartály kialakítása.

Az anaerob lebontási folyamat több részfolyamatból áll. *Lawrance és McCarty* (1969) három részfolyamattal – hidrolízis, savtermelés és metántermelés – jellemzi az anaerob lebontást. *Malina és Pohland* (1992) szerint is a hidrolízis a folyamat első lépése, ezt követi a savtermelés, majd a metántermelés. A gyakorlatban azonban csak két fázissal, a sav- és a metánképző folyamatokkal kell foglalkoznunk, mert a hidrolízist szintén a savtermelő baktériumok végzik. A hidrolízis során a savtermelő baktériumok extracelluláris enzimjeinek hatására az iszap szilárd anyagában lévő óriásmolekulák egyszerű szénhidrátokká, aminosavakká, zsírsavakká alakulnak. Ez a szubsztrát lebontó lépés meghatározó jelentőségű a metántermelés, azaz a biogázzá alakulás folyamatában. A szubsztrát bonthatósága hidrolitikus enzimaktivitással jellemezhető, hiszen a szubsztrát lebontási sebesség az enzimaktivitás függvénye (*Thiel et. al., 1968*).

A lebontási folyamat lépései egy tökéletesen kevert reaktorban egymással egy időben, párhuzamosan mennek végbe, ezért nincs olyan paraméter, amely egymagában alkalmas lenne a teljes folyamat ellenőrzésére. Az üzemi körülmények változásának megfelelően előfordul, hogy alkalmanként a sav- (fermentáció), illetve a gáztermelés egyensúlya megbomlik, azaz vagy a savtermelés vagy a metántermelés kerül előtérbe. Az üzemeltetés feladata, hogy a savtermelés és a gáztermelés egyensúlyát fenntartsa a kétféle folyamatért felelős baktérium populáció életfeltételeinek biztosításával. Az ehhez szükséges információkat az enzimaktivitás mérésekkel (dehidrogenáz-, proteáz-, lipáz enzimaktivitás mérések) kiegészült klasszikus ellenőrző meghatározások biztosítják.

Az anaerob fermentorok üzemének ellenőrzésére a hidrolitikus enzimaktivitás vizsgálatokat *Thiel és Hattingh* már 1967-ben megjelent cikkükben is javasolták. Az anaerob folyamat követésére számos módszer alkalmazásával próbálkoztak. Az anaerob rendszer aktivitásának jellemzésére az ATP (adenozin-5'-trifoszfát) mérését javasolja *Chung és Neethling* (1988). A szerzők szerint az ATP koncentráció és a gázfejlődés sebessége szoros kapcsolatban áll egymással, és a két paraméter jól jellemzi az anaerob rendszer aktivitását. A hidrogén koncentráció vagy a keletkezett hidrogén parciális nyomásának mérése bizonyos esetekben a metántermelő fázis egyensúlyát jól jellemezheti (*Mosey és Fernandes, 1988*). A hidrogén felhasználás nyomon követése azonban a metántermelésnek csak egyik útja, tehát a metántermelő folyamatot összességében nem jellemzi. A gyakorlatban az anaerob folyamat egyensúlyának ellenőrzésére majdnem kizárólag a hagyományos paramétereket (pH, illósav, lúgosság, gázösszetétel) használják. Az üzemeltetés szempontjából fontos, hogy az anaerob rothasztási folyamatot minden esetben megfelelő módon ellenőrizzük, és kellő információk

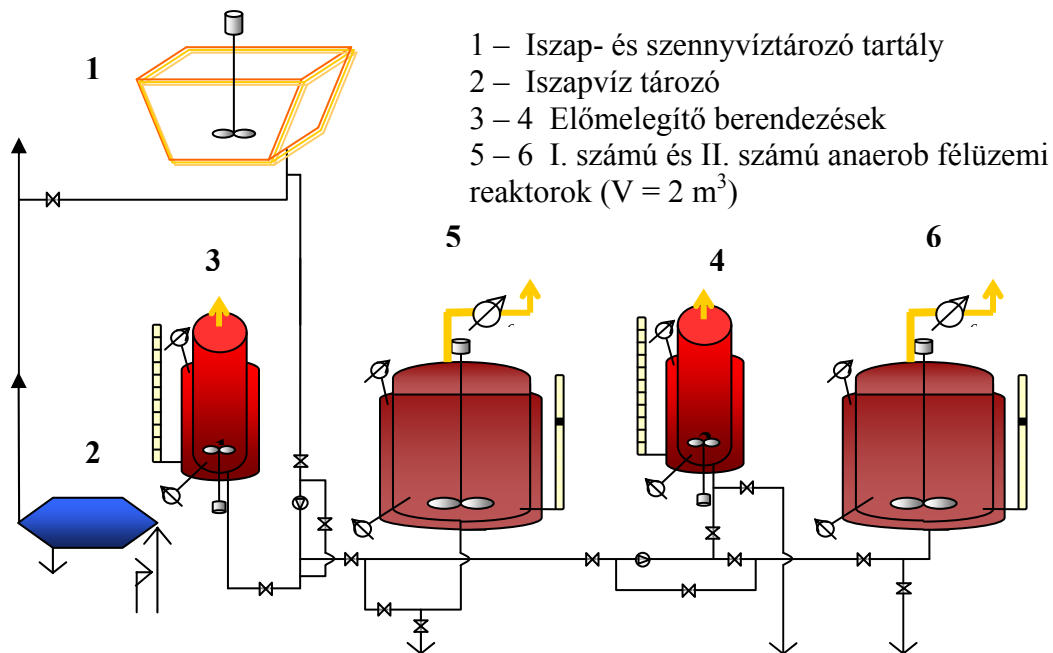
birtokában az üzemeltetés folyamatába beavatkozhatunk. Üzemi és félüzemi tapasztalatok alapján az alábbiakban ismertetjük azokat a biokémiai paramétereket (dehidrogenáz-, proteáz-, lipáz enzimaktivitás), amelyek segítségével a klasszikus ellenőrző paraméterekkel együtt (pH, illósav, lúgosság, gázmennyiség, gázösszetétel, redoxipotenciál) az anaerob rothasztók állapota követhető, és ennek alapján a szükséges technológiai változtatások megtehetőek.

2. Anyag és eszköz

2.1. Kísérleti berendezések

A kísérleti munkát egy budapesti kommunális szennyvíztisztító telepen (Fővárosi Csatornázási Művek Zrt., Dél-pesti Szennyvíztisztító Telep, Budapest) végeztük. Munkánk során lehetőségünk volt félüzemi és üzemi fermentorokban is vizsgálni az enzimaktivitásokat. A félüzemi méretű kísérleti berendezést az 1. ábra mutatja be. Mindkét rothasztó tartályhoz előmelegítést szolgáló tartály (300 dm³) kapcsolódott. A rátáplálás előtt az iszapot egy tartályban homogenizáltuk. A két rothasztó tartály sorba kapcsolhatóságát csővezeték és szivattyúk biztosították. Mindegyik reaktor hasznos térfogata 2,0 m³ volt. A reaktorokban lehetőség volt a hőmérséklet folyamatos változtatására. A képződött gáz mennyiségét gázórával mértük.

A szennyvíztisztító telepen 3 darab, egyenként 2600 m³-es mezofil és egy darab 2000 m³-es termofil anaerob fermentor üzemszerűen működik. Ezek közül az utóbbi reaktor működését követtük enzimaktivitás vizsgálatokkal is.



1. ábra: Félüzemi méretű anaerob rothasztó berendezés vázlatja

2.2. Mérés módszere

Dehidrogenáz enzimaktivitás

A dehidrogenáz aktivitást a magyar MSZ-08-1721/3 – 86 számú szabvány alapján határoztuk meg. A meghatározás elve: a rothasztott szennyvíziszaphoz telített NaHCO₃-ot, mint puffert, és 2,3,5-trifenil-tetrazólium-kloridot (TTC), mint szubsztrátot adtunk. Ezt követően 1 órán keresztül 37 °C-on inkubáltuk a mintákat. A biokémiai folyamatokat etanollal állítottuk le. Szűrést követően 485 nm-en mértük az oldat abszorbanciáját etanollal szemben.

A kapott abszorbanciákat kalibrációs módszerrel értékeltük ki. A kalibrációs sorozat ismert koncentrációban tartalmazott trifenil-formazánt (TF), minthogy az élő sejtek enzimek által katalizált folyamat eredményeképpen a TTC átalakult vörös színű trifenil-formazánná, és ennek mennyisége mérhető spektrofotometriásan. Az aktivitást egységnyi szerves iszap által óránként képzett trifenil-formazán mennyiségében adjuk meg.

Proteáz enzimaktivitás

A mérést *Thiel és Hattingh* (1967) módszerével végeztük. A proteáz enzimaktivitás mérése során szubsztrátként kazein-oldatot alkalmaztunk. A kísérletsorozatban minden minta 1/3-rész iszapmintát, 1/3-rész szubsztrátot, illetve 1/3-rész desztillált vizet tartalmazott. 1 óra szobahőmérsékleten történt inkubálás után a reakciót triklórecetsavval állítottuk le. Szűrést követő lúgosítás után a kiváló vascsapadék miatt mintáinkat újrászűrtük, majd higított Folin-reagenst hozzá adva a kialakuló kék színt 660 nm-en mértük a vak mintával szemben. Vakmintaként a fenti arányokban kezelt inkubálás nélküli anaerob iszap szolgált, azonnali triklórecetsavas kezelést követően. A mért adatok kiértékelését tirozin törzsoldatból készített kalibráló sorozattal valósítottuk meg. Az aktivitást egységnyi szerves iszap által képzett tirozin tömegben fejezzük ki.

Lipáz enzimaktivitás

A lipáz enzimaktivitást *Vorderwülbecke et al.* (1992) módszere alapján mértük. A lipáz enzimaktivitás méréshez két reagens-oldat emulzióját készítettük el, amelyet a centrifugált iszap felülúszójának meghatározott részletéhez adtunk. 45 °C-os inkubálást követően a minta fényelnyelését a vakkal szemben 410 nm-en mértük. A szubsztrátként jelenlévő para-nitro-fenil-palmitát (pNPP) az enzimyományok során para-nitro-fenollá (pNP) alakul, amely spektrofotometriásan mérhető. Az aktivitást 1 g szerves iszap által óránként előállított para-nitro-fenol mennyiségével fejezzük ki.

Munkánk során vizsgáltuk a hagyományos paramétereket: az összes illó zsírsavat, a lúgosságot, a gázösszetételt, az iszap száraz anyag tartalmát, a szerves anyag tartalmát, a kémhatást és a redoxipotenciál értéket is. Ezeket a paramétereket a Standard Methods előírásai alapján mértük. A biogáz gázösszetételét magyar szabvány (MSZ 5313 – 57) alapján határoztuk meg.

2.3. A kísérleti szakaszok

Az első kísérleti periódusban a két kísérleti reaktort azonos módon üzemeltettük. A reaktorok hőmérsékletét mezofil hőmérsékletre, illetve a termofil felső tartományába átállítottuk azonos fajlagos szerves anyag terhelés mellett (átl. $2,88 \pm 0,4$ kg/m³/nap). A hőmérséklet átüzemelés során *Iranpour et al.* (2002) korábbi kísérletei által tapasztaltakat figyelembe vettük, ezért az üzemmód átállítását 3 °C/nap hőmérséklet-emeléssel valósítottuk meg. Minden egyes hőmérsékletemeléssel között három nap adaptációs időt tartottunk. A kísérleti periódus közel három hónapig tartott. Az enzimaktivitás vizsgálatok közül itt a dehidrogenáz- és proteáz aktivitás eredményeinket közöljük. Az első kísérleti periódus részeként a két félüzemi reaktort párhuzamosan is működtettük mezofil, illetve termofil hőmérsékleten, ebben az időszakban redoxipotenciál vizsgálatokat végeztünk.

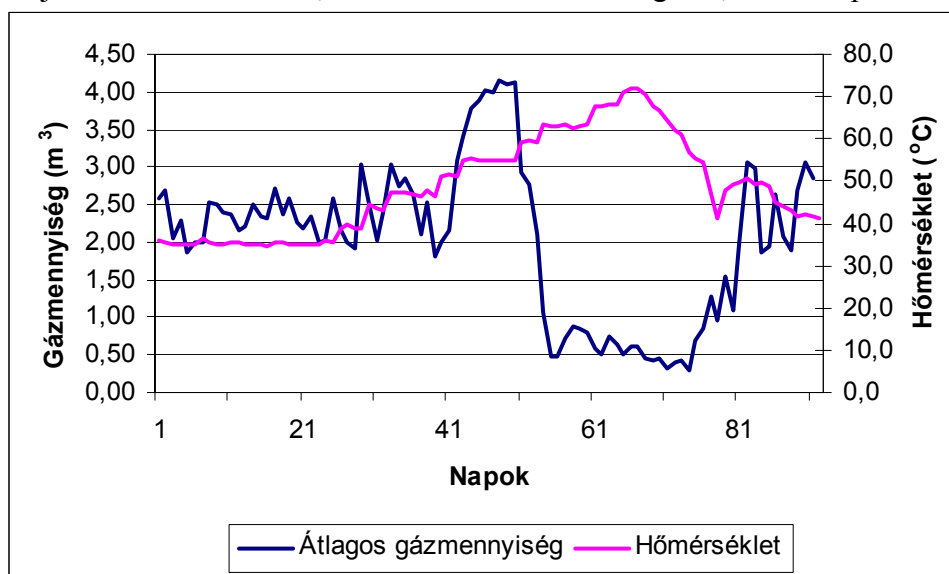
A második kísérleti periódusban az egyik félüzemi, mezofil reaktorban a fajlagos szerves anyag terhelést változtattuk. Ebben az esetben a szubsztrát specifikus proteáz enzimaktivitás adatokat közöljük.

A harmadik kísérleti periódusban az üzemi termofil rothasztóban változtattuk a szerves anyag terhelést, és ennek hatását követtük az enzimaktivitás vizsgálatokkal.

3. A mérési eredmények értékelése

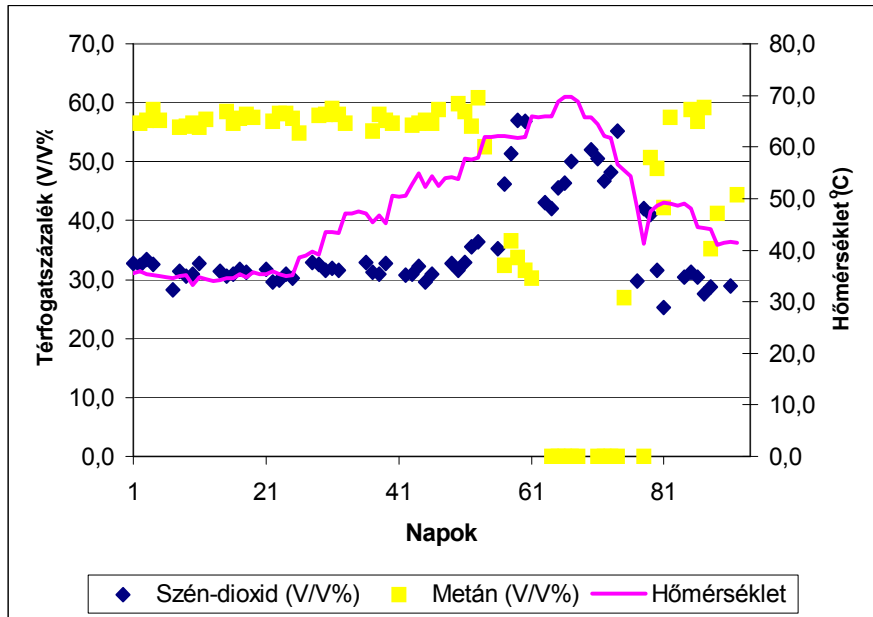
A fél-üzemi kísérletek és eredményei

A reaktorok ebben az első kísérleti periódusban folyamatos rátáplálással, azonos fajlagos szerves anyag terheléssel üzemeltek, csupán a hőmérsékletet változtattuk fokozatosan (ld. 2.3.) A 2. ábra az átlagos gáztermelést mutatja be a hőmérséklet emelés függvényében. Ezen az ábrán – és a továbbiakban is – az átlagos értékeként a két félüzemi reaktorban meghatározott adatok átlagát tüntetjük fel. A kísérletsorozatban az üzemelés során azt tapasztaltuk, hogy egy kritikus hőmérséklet eléréséig növekedett a gáztermelés. Az átlagos mezofil gáztermelés $2,13 \pm 0,68 \text{ Nm}^3/\text{nap}$ értékről $3,89 \pm 0,81 \text{ Nm}^3/\text{nap}$ átlagos termofil gáztermelési értékre változott. A $60 \text{ }^\circ\text{C}$ feletti üzemelésnél (a kísérlet 54. napjától) a gáztermelés jelentősen lecsökkent, értéke nem érte el az átlagos $0,5 \text{ Nm}^3/\text{nap}$ értéket.



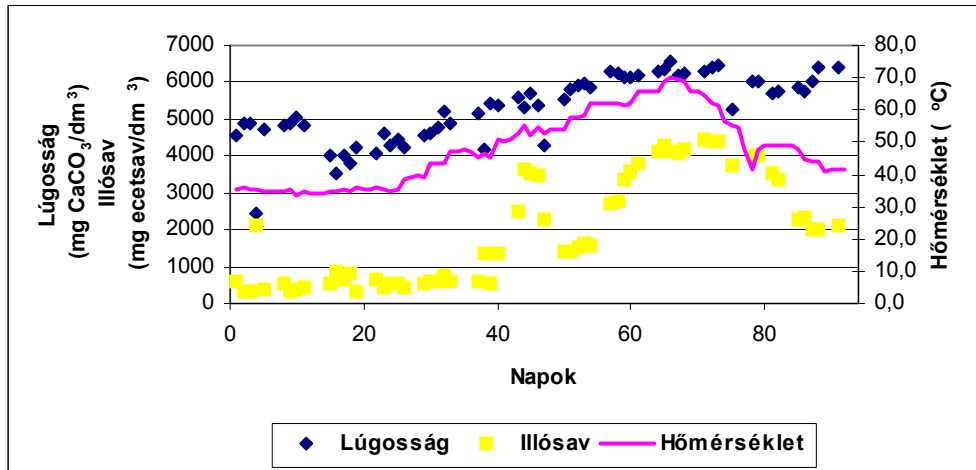
2. ábra: Az átlagos gázmennyiség változása a félüzemi reaktorokban a hőmérséklet emelés hatására

A kísérleti reaktorban a hőmérsékletemelés hatására nemcsak a biogáz mennyisége, de összetétele is megváltozott. A 3. ábra a gázösszetétel és a hőmérséklet kapcsolatát mutatja. A metán mennyisége mezofil hőmérsékleten 55 V/V%, míg termofil hőmérsékleten 60 V/V% körül alakult, 60°C fölött a metán mennyisége is jelentősen lecsökkent, $70 \text{ }^\circ\text{C}$ felett pedig csupán 2-3 V/V% körül ingadozott. A $60 - 70 \text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékleti tartományban a „hő-sokk” hatására a metántermelés szinte teljesen megszűnt, ez arra utal, hogy ezen a hőmérsékleten a metántermelő baktériumok teljes inhibíciója bekövetkezett.



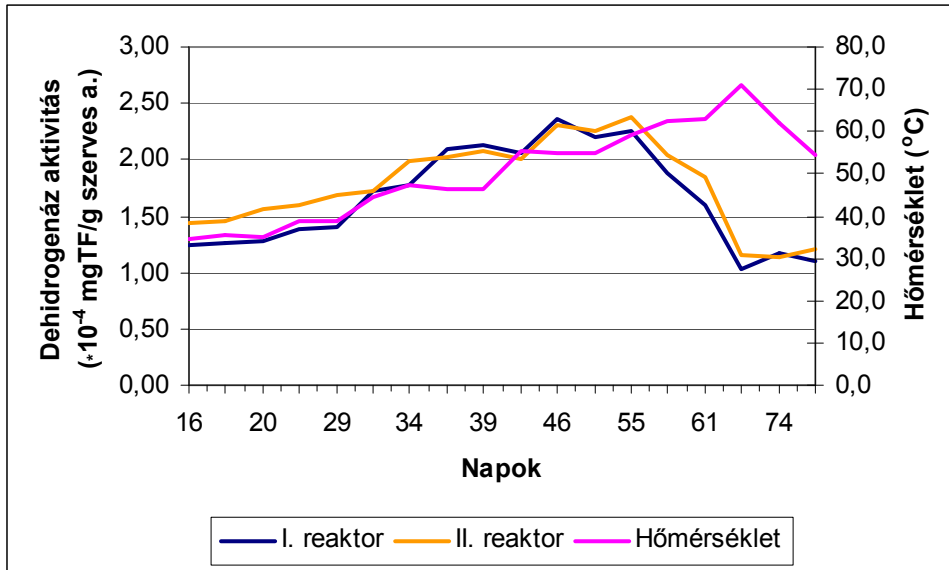
3. ábra: Az átlagos gázösszetétel változása a fél-üzemi reaktorokban

A hőmérsékletemelés hatására bekövetkező illósav és lúgosság változását a 4. ábra mutatja be. A hőmérséklet emelésével az illósav koncentrációja nőtt, a termofil hőmérsékleten pedig lecsökkent, majd ismét emelkedett a hőmérséklet (60 °C) emelkedés hatására. A „hő-sokkot” követően, amikor a hőmérséklet ismét lecsökkent 40-50 °C közé az illósav koncentráció is csökkenést mutatott. A lúgosság esetén mindvégig az értékek kismértékű növekedése volt figyelhető meg.



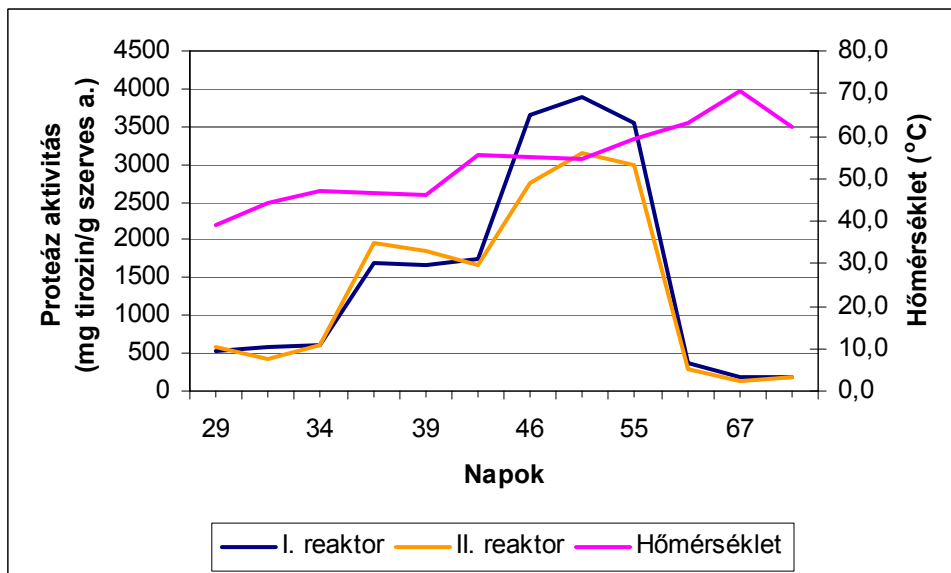
4. ábra: Az ellenőrző paraméterek átlag értékeinek változása a félüzemi reaktorokban

A sejtek összaktivitását jellemző dehidrogenáz enzimaktivitás szintén nőtt a hőmérsékletemelkedés hatására, míg 60°C felett jelentősen lecsökkent, ezt szemlélteti az 5. ábra.



5. ábra: A dehidrogenáz enzimaktivitás változása a félüzemi (I. – II.) reaktorokban

A dehidrogenáz enzimaktivitás változásához hasonló képet mutatott a proteáz enzimaktivitás változása is (6. ábra). A hőmérséklet emelkedés hatására megnőtt, majd a mikroorganizmusok számára kedvezőtlen hőmérséklet elérése után ez az enzimaktivitás is jelentősen lecsökkent. A két enzimaktivitást összevetve megállapítható, hogy a dehidrogenáz aktivitás a proteáz aktivitáshoz képest kisebb mértékben követte a hőmérsékletváltozás kedvező, illetve kedvezőtlen hatását. A proteáz aktivitás közel nyolcszoros, míg a dehidrogenáz aktivitás alig kétszeres változást mutatott a hőmérséklet változásával.

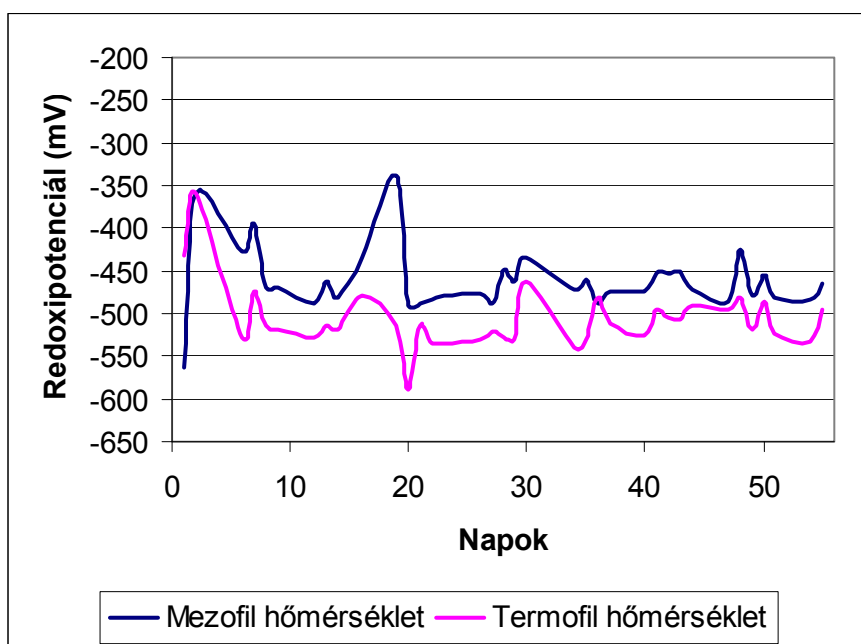


6. ábra: A proteáz enzimaktivitás változása a félüzemi (I. – II.) reaktorokban

A 60 °C hőmérséklet a termofil üzemelés legfelső határa e feletti hőmérsékleten az üzemelés bizonytalanra válik, és a lebontási határfok nagymértékben csökken. Ezt a tapasztalatot bizonyítja a gázképződés mértéke is, és az enzimaktivitás mérések egész sora.

A Dél-pesti Szennyvíztisztító Telepen üzemelő fél-üzemi reaktorokban (I. és II. reaktorok) párhuzamosan vizsgáltuk a redoxipotenciál változását is. Az egyik reaktor mezofil,

a másik termofil hőmérsékleten működött. A mért redoxipotenciál értékeket a 7. ábra mutatja be.



7. ábra: A redoxipotenciál változása a kísérleti rothasztó berendezésekben termofil és a mezofil körülmények között

A redoxipotenciál optimális értéke mezofil rendszerben -450 és -550 mV, a termofil rothasztás esetében pedig -550 és -600 mV értékek között alakul. A kísérletsorozat kezdetén a redoxipotenciál értéke mindkét rendszerben erősen ingadozott. A kezdeti ingadozó redoxipotenciál értékek közel egy hónap után stabilizálódtak. A stabilizálódást követően a mezofil üzemmódban a redoxipotenciál -450 és -560 mV értékek közé állt be. A termofil rendszerben a redoxipotenciál értéke -480 és -560 mV értékek között változott. Mindkét esetben a mért redoxipotenciál értékek megfeleltek a szakirodalomban közölteknek. A kísérleti periódus elején nagyobb illósav koncentrációt (átl. 2000 mg ecetsav/dm³) és kisebb pH értéket mértünk ($6,5 - 6,8$), tehát inkább a savtermelés dominált. A rendszerek stabilizálódása után mindkét hőmérsékleti tartományban az illósav koncentrációja $700 - 800$ mg ecetsav/dm³, a pH pedig $7,5 - 7,7$ értékek közé állt be, ez egyértelműen a metántermelésre utal. A metántermelés beindulását követően a redoxipotenciál mindkét rendszerben csökkent és beállt a folyamatra jellemző érték tartományra (< -450 mV).

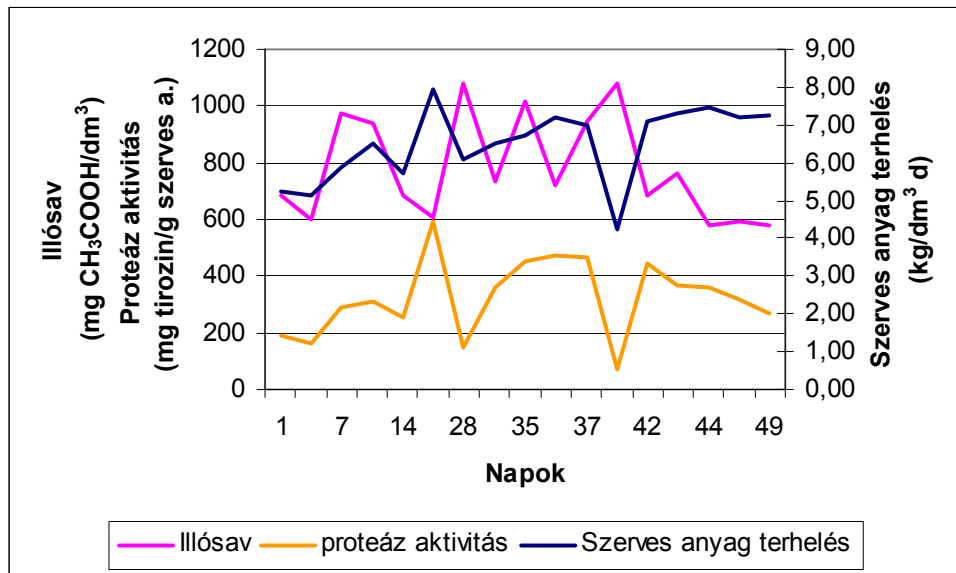
A fél-üzemi berendezésekben végzett redoxipotenciál mérések egyértelműen bebizonyították, hogy mind a mezofil, mind a termofil hőmérsékletű rendszerekben a redoxipotenciál mérésekkel a savtermelés-gáztermelés egyensúlyi folyamat beállása, illetve az egyensúly megbomlása nagyon gyorsan követhető. A redoxipotenciál méréssel gyorsabban jutunk információhoz, mint az egyéb hagyományos laboratóriumi (pH, illósav, lúgosság) módszerekkel. A mérés további előnye, hogy a mért paraméter változása folyamatosan nyomon követhető (online), és viszonylag alacsony beruházás költségű.

A második kísérleti periódusban, amely több mint két hónapig tartott az I. félüzemi reaktorban változtattuk a szerves anyag terhelést. A kísérleti reaktorban a szennyvíziszap mellett folyékony fehérje hulladékot is adagoltunk. Vizsgáltuk a fermentált iszap száraz anyag-, szerves anyag tartalmát, kémhatását, illósav-tartalmát, lúgosságát, valamint a proteáz enzimaktivitását. Az eredményeket az 1. táblázat tartalmazza, amelyből kitűnik, hogy a szerves anyag terhelés növekedésével egyidejűleg a kémhatás és a lúgosság nem változott. Az

illósav koncentrációja kisebb eltérésekkel ugyan, de a fajlagos szerves anyag terheléssel összhangban változott. Ugyancsak megállapítható, hogy a proteáz enzim aktivitása is jól követte a terhelés változását, ezt a 8. ábra is szemlélteti. A proteáz enzimaktivitás mérését a szerves anyagon belül a fehérjék mennyiségének változása indokolta.

1. táblázat: Az ellenőrző paraméterek és a proteáz aktivitása a félüzemi, mezofil rothasztó berendezésben

	Fajlagos szerves anyag terhelés (kg/m ³ d)	Száraz anyag (g/kg)	Szerves anyag (g/kg)	pH	Lúgosság (mg/dm ³)	Illósav (mg/dm ³)	Proteáz aktivitás (mg tirozin/g szerves a.)
Átlag	6,496	29,1	17,1	7,26	5131	780	325
Szórás	0,985	3,42	3,00	0,29	373	184	136
Szórás%	15,2	11,7	17,6	4,01	7,26	23,5	41,9

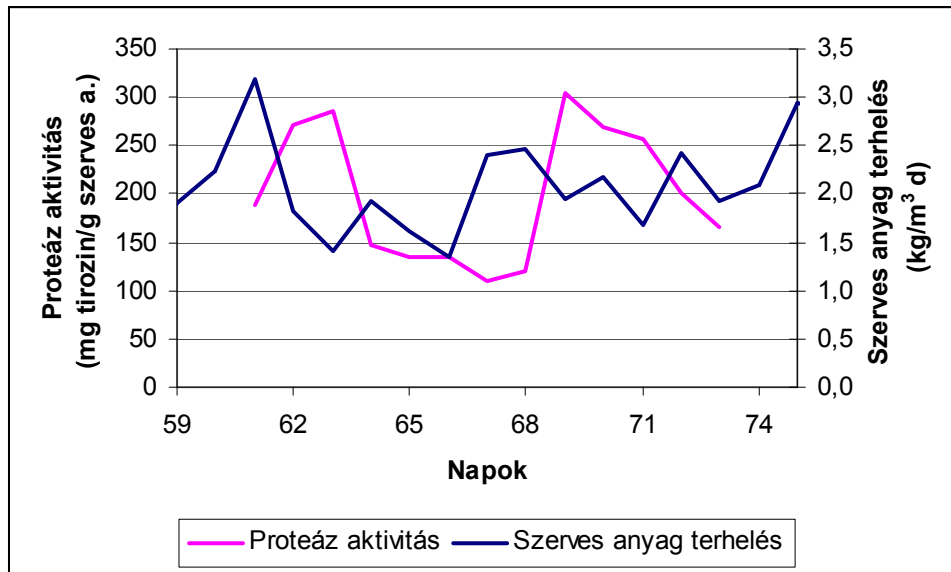


8. ábra: A proteáz aktivitás, az illósav és a szerves anyag terhelés a félüzemi, mezofil rothasztó berendezésben

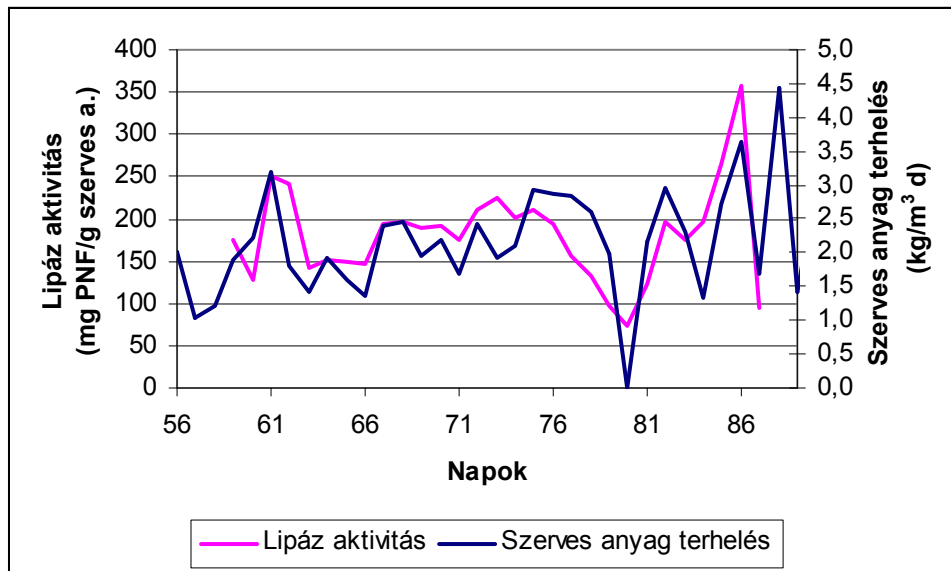
Megállapítható, hogy a szennyvíziszap vagy egyéb hulladékok rothasztása során mindig nagy mennyiségű fehérje lebomlással kell számolni, a fehérjebontó enzim (proteáz) aktivitás mérésével a változó terhelés hatására kialakuló aktivitás változás jól jellemezhető.

Az üzemi kísérletek és eredményeik

Változó szerves anyag terhelés mellett végeztünk kísérleti munkát folyamatosan, stabilan üzemeltetett, ipari méretű fermentorban is. A félüzemi kedvező tapasztalatok birtokában a termofil üzemi rothasztóba beszállított fehérje és zsír eredetű hulladékok anaerob lebontási aktivitásának és a terhelés változásának nyomon követésére a proteáz- és a lipáz enzimaktivitás méréseket alkalmaztunk. Az üzemi méretű ($V = 2000 \text{ m}^3$) termofil torony proteáz- és lipáz aktivitás eredményeit a 9. és 10. ábrán mutatjuk be. Mindkét vizsgált enzimaktivitás követte a megváltozott szubsztrát terhelést. A proteáz enzimaktivitás körülbelül 1-2 napos idő eltolódással, míg a lipáz aktivitás szinte azonnal jelezte a fajlagos szerves anyag terhelés változását.



9. ábra: A proteáz aktivitás változása a szerves anyag terhelés függvényében az ipari termofil rothasztó toronyban



10. ábra: A lipáz aktivitás változása a szerves anyag terhelés függvényében az ipari termofil rothasztó toronyban

4. Következtetések

Összességében a következők állapíthatók meg:

- a mezofil és a termofil hőmérsékleten, a fél-üzemi berendezésekben végzett redoxipotenciál mérések egyértelműen bebizonyították, hogy az anaerob fermentáció egyensúlyi folyamatainak beállása és az egyensúly megbomlása gyorsan követhető a redoxipotenciál meghatározásával. A gyakorlatban a folyamatok jellemzésére a hagyományos ellenőrző paraméterek (pH, illósav, lúgosság, gázösszetétel) mellett a redoxipotenciál mérése megbízhatónak tűnik.
- A gyakorlatban alkalmazott ellenőrző paraméterek közül az illósav mérése jól mutatta a hőmérséklet hatására bekövetkezett változásokat: a termofil hőmérsékleten az illósav hasznosítása gyorsabb, mint mezofil hőmérsékleten. A

lúgosság kismértékű növekedésével pedig továbbra is biztosítható a rendszer pufferkapacitása.

- A dehidrogenáz enzimaktivitás, mint az összaktivitást jellemző paraméter kitűnően jelezte a megváltozott környezeti tényező hatását. A termofil hőmérséklet eléréséig nőtt az értéke, míg a túlságosan nagy hőmérsékleten ($> 60^{\circ}\text{C}$) csökkent, hiszen a baktériumok életfeltételei kedvezőtlenül alakultak.
- A gyakorlatban az enzimaktivitás méréseket akkor célszerű alkalmazni, ha egy rothasztó berendezésben gyakori a szubsztrát összetétel és ezzel együtt járó terhelés változása. A szubsztrát összetételének hatására a hidrolitikus enzimaktivitás (proteáz, lipáz) értékei gyorsabban jelzik a folyamat egyensúlyának változását, mint a hagyományos ellenőrző paraméterek (pH, illósav, lúgosság, gázösszetétel).
- A termofil rothasztásnál a hidrolitikus enzimaktivitás (proteáz-, lipáz aktivitások) értéke a mezofil rendszer aktivitásának kb. kétszerese.
- Az alkalmazott enzimaktivitás mérésekkel (a klasszikus ellenőrző paraméterek mellett) nyomon követhető az anaerob fermentorokban lezajló szubsztrát (fehérjék, zsírok) lebontási sebesség változás, amely hatással van a képződött biogáz mennyiségére. Gyakori szubsztrát változások esetén az anaerob rendszer adaptációjáról és aktivitásáról az enzimaktivitás mérésekkel szintén gyors választ kaphatunk.
- Az egyszerűsített enzimaktivitás méréseket ma már a gyakorlatban is viszonylag gyorsan, valamint alacsony beruházás költségek mellett el lehet végezni.

Összefoglalás

Kísérleti munkánk során egy kommunális szennyvíztisztító telep fél-üzemi és üzemi anaerob fermentorait jellemeztük a klasszikus ellenőrző paraméterekkel (pH, illósav, lúgosság, gázösszetétel), illetve enzimaktivitás vizsgálatokkal (dehidrogenáz, proteáz, lipáz). A klasszikus ellenőrző paraméterek csoportjába bevontuk a redoxipotenciál mérését is. Három fő kísérleti periódusunkban először a hőmérséklet-változtatás hatását, míg a második, illetve a harmadik periódusban a fajlagos szerves anyag terhelés változtatásának hatását vizsgáltuk fél-üzemi, illetve az üzemi körülmények között.

A hőmérséklet átüzemelési kísérletünkben a dehidrogenáz enzimaktivitás, mint az összaktivitást jellemző paraméter kitűnően jelezte a megváltozott körülmények hatását. Termofil hőmérséklet eléréséig nőtt az értéke, míg a túlságosan nagy, az élő sejtek számára kedvezőtlen hőmérsékleten ($> 60^{\circ}\text{C}$) csökkent. A klasszikus ellenőrző paraméterek közül csak az illósav koncentrációjának alakulása mutatta a bekövetkezett változásokat a termofil hőmérsékleten történő nagyobb illósav hasznosítás miatt. A többi ellenőrző paraméter nem nyújtott megfelelő információt. A redoxipotenciál mérések egyértelműen bebizonyították, hogy az anaerob fermentáció egyensúlyi folyamatainak beállása és az egyensúly megbomlása gyorsan követhető redoxipotenciál mérésekkel mindkét vizsgált hőmérsékleten.

A szubsztrát összetételének hatására a hidrolitikus enzimaktivitás (elsősorban a proteáz és a lipáz) értékei gyorsabban jelzik az anaerob fermentorban bekövetkezett változásokat, mint a hagyományos ellenőrző paraméterek (pH, illósav, lúgosság, gázösszetétel). A gyakorlatban az enzimaktivitás méréseket akkor célszerű alkalmazni, ha egy rothasztó berendezésben gyakori a szubsztrát összetétel és ezzel együtt járó terhelés változása. Az enzimaktivitás vizsgálatok további előnye, hogy gyorsan és viszonylag olcsón elvégezhetők.

Abstract

Operation control of anaerobic digesters on the basis of biochemical parameters

In the course of our experimental work, the pilot plant- and plant scale anaerobic bioreactors of a communal sewage treatment plant were tested by applying usual control parameters (pH, volatile acid content, alkalinity, gas composition) and enzyme activity determinations (dehydrogenase, protease, lipase), respectively. The redoxipotential measurement was also included into the group of the control parameters. The experiment was divided into 3 main parts. During the first one the influence of a temperature change, then - in the second and the third period - the effect of alteration in the specific organic matter load was examined within pilot plant- and plant scale.

In our temperature varying experimental phase, the dehydrogenase enzyme activity – as a characteristic parameter of the total biomass activity – excellently indicated the influence of the different operating conditions. Before reaching the thermophile temperature this parameter value had been increasing, while at a too high temperature (>60°C) its value reduced, as the essential conditions for bacteria changed unfavourably. Among the control parameters only the change of the volatile acid concentration – due to the larger volatile acid utilization at the thermophilic temperature – reflected the occurred influences. The other control parameters did not present adequate information. The redoxipotential measurements unambiguously verified, that the state of anaerobic fermentation processes can be quickly followed up by these measurements at both tested temperatures.

Due to the effect of the substrate composition, values of the hydrolytic enzyme activity (mainly of the protease and lipase activities) reflected the changes occurred in the anaerobic reactor more rapidly than the control parameters (pH, volatile acid, alkalinity, gas composition). In practice it is expedient to use enzyme activity measurements in those cases, when changes in the substrate composition and in the accompanied loading of a digesting reactor are frequent. Another advantage of the enzyme activity tests is, that they can be carried out quickly and at a relative low cost.

Irodalom

Analysis of soil biological activity by method of dehydrogenase enzyme activity. Soil analysis of agricultural land treated with sewage and sewage sludge. MSZ-08-1721/3 – 86

Chung, Y.C., Neethling, J.B. (1988): ATP as a measure of anaerobic sludge digester activity. Journal Water Pollution Control Federation, 60, 107 – 112

Iranpour, R. et al. (2002): Changing Mesophilic Wastewater Sludge Digestion into Thermophilic Operation at Terminal Island Treatment Plant. Water Environment Research, Vol. 74, No. 5, 494-506

Lawrance, A. W. McCarty, P. L. (1969): Kinetics of methane fermentation in anaerobic treatment. Journal Water Pollution Control Federation, 41, 1-16

Malina, J. F., Pohland, F. G. (1992): Design of Anaerobic Processes for the Treatment of Industrial and Municipal Wastes. TECHNOMIC Publishing CO.INC. Lancaster· Basel, 194 – 210

Mosey, F.E., Fernandes, X.A. (1988): Monitoring hydrogen in biogas during the anaerobic digestion of sugars. Fifth International Symposium on Anaerobic Digestion, Bologna, Italy, 219 – 221

Organic and volatile acids. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19 th Edition 1995. Publication Office American Public Health Association, 1015 Fifteenth Street, NW Washington, DC 20005.

Thiel, P.G., Hattingh, W.H.J. (1967): Determination of hydrolytic enzyme activities in anaerobic digesting sludge. Water Research, 1, 191 – 196

Thiel, P.G., Toerien, D.F., Hattingh, W.H.J., Kotzé, J.P., Siebert, M.L. (1968): Interrelations between Biological and Chemical Characteristics in Anaerobic Digestion. *Water Research*, Vol. 2, 393- 408

Titration Method. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19 th Edition 1995. Publication Office American Public Health Association, 1015 Fifteenth Street, NW Washington, DC 20005.

Vorderwülbecke, T., Kieslich, K., Erdmann, H. (1992): Comparison of lipases by different assays. *Enzyme Microb. Technol.*, Vol. 14, August, 631 – 639