مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد41 العدد (4) – 2025: 309-317

Damascus University Journal for engineering sciences
Vo 41 number (4) -2025: 309-317

دراسة تأثير تطبيق شدات تهوية متغيرة في الهواضم اللاهوائية الخاضعة للتهوية المكروية (Microaeration)

هيلين نذير مسلماني*[1] محمود حديد[2] غسان درة حداد[3]

*[1]. طالبة دكتوراه، مهندسة، في قسم الهندسة البيئية – كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق.
helen.m@damascusuniversity.edu.sy.

[2]. استاذ مساعد، دكتور، مهندس، في قسم الهندسة البيئية – كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق.
mahmmoodhadid@damascusuniversity.edu.sy

[3]. استاذ مساعد، دكتور، مهندس، في قسم الهندسة البيئية – كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق
ghassanhadad@damascusuniversity.edu.sy

الملخص:

يدرس المقال عمل الهاضم اللاهوائي في ظل تطبيق تقنية (Microaeration) او التهوية المكروية او الدقيقة وفق شدات تهوية متغيرة. حيث جرت التجربة لمدة 30يوم تمت خلالها زيادة شدة التهوية كل خمسة أيام من بعد اليوم العاشر بغية معرفة أثر زيادة شدة التهوية على عمل الهاضم اللاهوائي وخصوصا تجاه إزالة H2S من الغاز الحيوي المنبعث ونسبة CH4 فيه. تم ضخ الاكسجين في منطقة رأس الهاضم وبمعدل 0.07,0.1,0.15LO2\Lfeed\day وتم التوصل الى أن نسبة إزالة H2S كانت تزداد مع زيادة شدة التهوية حتى وصلت الى 92% عند الوصول لشدة تهوية 0.15 في حين ان شدة التهوية هذه اثرت على نسبة غاز الميتان المنبعث حيث وصلت الى 57% بعدما كانت 69.8% عند شدة التهوية 0.1 والتي قابلها نسبة إزالة ل H2S 87%.

الكلمات المفتاحية: هاضم لاهوائي، تهوية دقيقة، الغاز الحيوي، إزالة H2S.

تاريخ الإيداع: 2023/5/10

تاريخ القبول: 2023/8/9

حقوق النشر: جامعة دمشق – سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب **CC BY-NC-SA**

Effects of the dose of oxygen during Microaeration on anaerobic digestion process

Helen Nazer Muslemani[*1] Mahmmood Hadid[2] Ghassan Hadad[3]

[*1.] PHD Student,Eng, at Environmental Engineering department-Civil Engineering Faculty-Damascus University helen.m@damascusuniversity.edu.sy

[2.] Associate Professor,Dr, Eng, Environmental Engineering department- Civil Engineering Faculty- Damascus mahmmoodhadid@damascusuniversity.edu.sy

[3.] Associate Professor, Dr, Eng, Environmental Engineering department- Civil Engineering Faculty- Damascus ghassanhadad@damascusuniversity.edu.sy

Received: 10/5/2023
Accepted: 9/8/2023

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a
CC BY- NC-SA

Abstract:

Microaeration is a new technology applying on anaerobic digestion (AD) to achieve many benefits. This pepper focused on the effects of different doses of oxygen (0.07,0.1,0.15 $LO_2\backslash L_{feed}\backslash day$) on improving methane production and removing H_2S from the biogas . Dosing point was in the head of the (AD). As a result the removal of H2S increased with increasing oxygen dose, Best removal of H2S was 92% at (0.15 $LO_2\backslash L_{feed}\backslash day$) ,but this dose had bad effects on methanogens and CH4 production . So (0.1 $LO_2\backslash L_{feed}\backslash day$) was the best dose with 87% removal of H2S and 69.8% CH4 (V\V%).

Keywords: Microaeration, anaerobic digestion (AD), Biogas, removal of H_2S.

المقدمة:

ساهمت طرق معالجة النفايات وإعادة تدويرها في التخفيف ولو بشكل بسيط من الآثار البيئية الضارة لهذه النفايات وتوجهت الأبحاث نحو التفكير للاستفادة من هذه النفايات قدر الإمكان فتم التوصل إلى الطرق البيولوجية لمعالجة النفايات العضوية كوسيلة امنه وغير مكلفة لتحويل هذه النفايات إلى بقايا يمكن الاستفادة منها وبالتالي تخفيفها وجعلها ذات قيمة.

إن المعالجة اللاهوائية للنفايات العضوية تؤدي إلى انبعاث كتلة من الغازات يطلق عليها اسم الغاز الحيوي وتتكون كتلة الغازات المنبعثة من غاز الميتان بنسبة تتروح ما بين (50–70)% وغاز ثاني أكسيد الكربون بنسبة (29-48)% بالإضافة إلى كميات بسيطة من غاز كبريتيد الهيدروجين ذو الرائحة الكريهة والاثار البيئية الضارة إذ أنه يعتبر احد الغازات المسببة لظاهرة الاحتباس الحراري

1. الغاز الحيوي ومكوناته:

يعرف الغاز الحيوي بأنه غاز لا لون له يشتعل بدون وجود دخان مشكلةً لهباً ازرقاً ذو طاقة حرارية عالية وتتكون مجموعة الغازات المنطلقة من التحلل اللاهوائي للنفايات العضوية بظل غياب تام للأوكسجين من:

الجدول رقم \1\ يبين مكونات الغاز الحيوي المنبعث من الهواضم اللاهوائية(Dasilva, E. J, (1978

الغاز	نسبته
غاز الميتان CH4	70-45 %
ثاني أكسيد الكربون CO2	25-22 %
بخار الماء H2O	10-0 %
النتروجين N2	5-0.01 %
الاوكسجين O2	1-0.1%
الهيدروجين H2	0.1%
النشادر NH3	2.5-0.01 m\mg^3
كبريتيد الهيدروجين H2S	10-30000 m\mg^3

إن الطاقة الحرارية للغاز الحيوي تقاس بمحتواه من الميتان حيث ان 1m^{3}من الغاز الحيوي (الحاوي على نسبة ميتان 65%) تكافئ 0.5 m^3 من الغاز الطبيعي وحوالي7 ليتر من البنزين ما يعادل حوالي 0.6 كيلو واط ساعي. Dasilva, E. J, (1978)

يتميز الغاز الحيوي بأنه أخف من الهواء وكثافته تساوي 0.7 من الهواء

أما الرائحة الكريهة المشابهة لرائحة البيض الفاسد المنبعثة من الغاز الحيوي فتعود إلى غاز كبريتيد الهيدروجين. Dasilva, E. J, (1978)

2. غاز الميتان

هو غاز عديم اللون والرائحة قابل للاشتعال صيغته الكيمائية CH4 ينبعث غاز الميتان طبيعيا من الأراضي الرطبة ومن فوهات البراكين ومن فتحات قاع المحيطات أنه بتشكل نتيجة التخمر اللاهوائي للمواد العضوية وخاصة المواد العضوية النباتية الحاوية على السيللوز من مزايا غاز الميتان أنه ممكن تحويله إلى طاقة الا ان من مساوئه خطر الانفجار عند اختلاطه مع غازات أخرى كالأكسجين كما ان غاز الميتان يعتبر من الغازات المسببة لظاهرة الاحتباس الحراري إذا ما وصل للغلاف الجوي حيث قيمة معامل تأثيره في ظاهرة الاحتباس الحراري تساوي 22 مقارنة مع غاز ثاني أكسيد الكربون) .

3.1.تشكل غاز الميتان ضمن الهاضم اللاهوائي:

معادلات تشكيل غاز الميتان:

يتم تشكل غاز الميتان في الهواضم اللاهوائية بفعل مجموعة من البكتريا يطلق عليها اسم الميثالوجينات والتي تقوم بتحويل حمض الاستات بشكل أساسي إلى ميتان

$$Acetate + H^+ \rightarrow 2CO_2 + 4CH_2$$
$$CO_2 + 4H_2 \rightarrow 2H_2O + 4CH_2$$

معادلة احترق غاز الميتان:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + energe$$

. Dagoggo, S. M (1996) Hollifield, E.A. (1985)

3. غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S:

هو غاز عديم اللون قابل للاشتعال صيغته الكيمائية H_2S له رائحة كريهة تشبه رائحة البيض الفاسد.

وهو غاز ذو تأثر سام على الكائنات الحية وخصوصا الانسان اذ أنه يؤثر على الاعصاب عند استنشاقه كما أنه يسبب الغثيان والصداع وتدمع العينين عند تراكيز (1-10ppm).(Bothi, 2007)

كما أنه ذو تأثير سلبي على البيئية فهو مصنف من الغازات المسببة لظاهرة الامطار الحامضية.

أما ضمن الهاضم اللاهوائي يعتبر عنصر يسمم بكتريا الميتان في المرحلة السائلة ويسبب تعطيل عمليات الهاضم اللاهوائي لهذا يجب التخلص منه في المرحلة السائلة

إن وجود H2S ضمن الهاضم اللاهوائي يعطل عمليات التحلل الحيوي بالإضافة إلى أنه يُفقد الغاز الحيوي قيمته إذا يجب ان لا تتجاوز تراكيزه 17000 ppm

حدد الباحثون قيمة الحد المسموح به لوجود H_2S في كتلة الغاز الحيوي ب (165-330 ppmv) في حال كان استخدام الغاز الحيوي لأغراض التدفئة والطاقة، في حين أنه يجب أن لا يزيد عن 1000 ppmv في محركات احتراق الوقود الداخلي وخلايا وقود الكربونات .(Rasi et al. 2011)

إن نسبة وجود H_2S في الغاز الحيوي يعتمد على عدة عوامل:

1- pH مياه الصرف الصحي

2- كمية SO_4^- في الركيزة

3- طريقة المعالجة

(Deublein and Steinhauser, 2008)

3.1. تشكل H_2S ضمن الهاضم اللاهوائي:

يتشكل غاز H2S في الهاضم اللاهوائي من بكتريا تسمى(SRB) وهي البكتريا المختزلة لـ SO_4^{-2}، والتي تكون موجودة اساسا في المادة العضوية التي تحتويها النفايات حيث تعمل هذه البكتريا اللاهوائية على تحويل SO_4^{-2} إلى H^+ و HS^- وذلك بحسب pH الوسط وفق المعادلات

$$H_2S \rightleftarrows H^+ + HS^- \quad k_1=1.0*10^{-7}$$

$$HS^- \rightleftarrows H^+ + S^{-2} \quad k_2=1.1*10^{-12}$$

(Tang et al., 2004)

الجزء غير المتأين من S^{2-} يسود عندما تكون pH اقل من 7 وهو الذي يسبب عرقلة عمليات الهاضم كما أنه يخترق غشاء خلايا البكتريا المنتجة للميتان ويقتلها أما في حال كان PH≥7 سيكون HS^- هو السائد لذلك يجب الحفاظ على قيم PHمرتفعة

(visser et al.1993 ,valdes et al.2006)

3.2. طرائق التخلص من H2S المنبعث مع كتلة الغاز الحيوي:

تعتمد إزالة كبريتيد الهيدروجين من الغاز الحيوي على طرائق فيزيائية او كيمائية او بيولوجية وتم أيضا دمج أكثر من طريقة لإزالة H2S من كتلة الغاز الحيوي وذلك بهدف البحث عن آلية اقتصادية وفعالة وبسيطة ومن الآليات المتبعة لإزالة كبريتيد الهيدروجين:

- استخدام المرشحات البيولوجية حيث يتم تمرير الغاز الحيوي عبر هذه المرشحات التي تكون معبأة بوسائط غير عضوية تُستنمى فيها أنواع من البكتريا الكيمائية لتقوم هذه البكتريا بأكسدة H2S وعندها تتم ازالته من كتلة الغاز الحيوي. تعتبر طريقة المرشحات البيولوجية طريقة فعالة لتخليص الغاز الحيوي من H2S إلا أنها تحتاج إلى تقنيات عالية ودقة في التطبيق وكلفة عالية لإنشائها (Kleinjan, W., 2005)

- إضافة احد املاح الحديدي ferric salts كـ($FeCl_3$) مباشرة إلى الهاضم اللاهوائي حيث تتفاعل ذرات الحديد مع كبريتيد الهيدروجين ونحصل على FeS غير القابل للذوبان وترسيبه اسفل الهاضم تعتبر هذه الطريقة من الطرائق واسعة الانتشار نظراً لبساطتها وعدم حاجتها إلى معدات إضافية إلا أنه من عيوب هذه الطريقة: تراكمFeS ضمن الهاضم و زيادة كمية الحديد ضمن الحمأة المتبقية ، إمكانية أكسدة FeS في حال وصول ظروف هوائية وارتفاع كلفة املاح الحديدي (Devai and Delaune, 2002; Gutierrez et al., 2010; Speece, 2008)

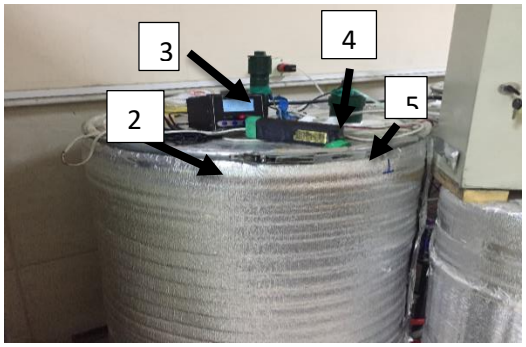
حديثا تم التوصل إلى طريقة حديثة وبسيطة غير مكلفة ولا تحتاج أي تعديل على تصميم الهاضم اللاهوائي تعتمد هذه الطريقة على تزويد الهاضم اللاهوائي بكمية محدودة من الاكسجين او الهواء لتعمل ذرات الاكسجين او الهواء على أكسدة H_2S يطلق على هذه العملية اسم التهوية المكروية او الدقيقة (Microaeration

4. تعريف عملية (Microaeration):

تعرف عملية Microaeration او التهوية الدقيقة او التهوية المكروية بأنها عملية حقن كمية من الاكسجين النقي او الهواء في المفاعل او الهاضم اللاهوائي إذ يمكن ان يضخ الهواء على دفعة واحدة او على عدة دفعات باليوم ويمكن ان تكون نقطة ضخ الاكسجين برأس الهاضم او في خط اعادة تدوير الحمأة او في منطقة السائل
(Ramos, I., Díaz, I., Fdz-Polanco, M., 2012)

5. الدراسة العملية:

جرت الدراسة على عينات حمأة صرف صحي حجم العينة (40) ليتر (20 ليتر حمأة أولية + 20 ليتر حمأة ثانوية) من محطة الصرف الصحي في مدينة عدرا بالقرب من العاصمة دمشق، بعد وضع العينة في نموذج تجريبي لهاضم لاهوائي من نوع (UASB) تم تسخين العينة إلى درجة حرارة 35° درجة مئوية وتمت المحافظة على هذه الدرجة ثابتة طول فترة التجربة وهي 30 يوم.



الصورة (1) تبين الهاضم اللاهوائي في مخبر البيئة في كلية الهندسة المدنية

حيث:

1-جسم الهاضم اللاهوائي حيث توجد العينة وهو معزول حراريا بطبقة عزل.

2- مقياس ph مزورد بالاكترود يصل لداخل الهاضم من اجل مراقبة ph العينة اثناء التجربة.

3- فتحة تزويد الهاضم بالعينة.

4- حساس حرارة موصول لداخال الهاضم من اجل مرقبة حرارى العينة عند اجراء التجربة.

5- أنبوب تزويد الهاضم بجرعات الاكسجين وهو موصول باسطوانة اكسجين وساعة للتحكم بكميات الاكسجين الداخلة للهاضم.

تم تطبيق شدات متغيرة ضمن الهاضم اللاهوائي وفق ($0.07, 0.1, 0.15\ L_{O2}\backslash L_{feed}\backslash day$) أي كل خمس أيام كانت تتم زيادة شدة التهوية من أجل الوصول إلى نسبة إزالة أعلى لـ H_2S بدأت التهوية في اليوم العاشر ودراسة مدى تأثير التهوية على انتاج الميتان.

تم ضخ الاكسجين وفق شدات التهوية المذكورة في منطقة رأس الهاضم.

من اليوم العاشر لليوم الخامس عشر كانت كمية الهواء المضخوخة 1.4 ليتر تعطى على اربع ساعات يوميا

من اليوم السادس عشر لليوم الحادي والعشرون كانت كمية الهواء المضخوخة \2\ ليتر على اربع ساعات يوميا

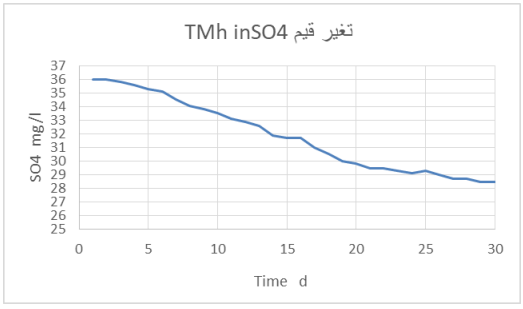
من اليوم الحادي والعشرون ولنهاية التجربة كانت كمية الهواء المضخوخة \3 \ ليتر على اربع ساعات يومياً.

في الأيام العشرة الأولى وقبل بدأ التهوية المكروية كان سلوك الهاضم مشابه تماما لسلوك الهاضم اللاهوائي الاعتيادي

من الأيام العاشر لليوم الخامس عشر وعند تطبيق تهوية بمقدار $0.07L_{O2}\backslash L_{feed}\backslash day$ لوحظ انخفاض COD و SO_4 بشكل تدريجي ونسبة انبعاث CH_4 كانت إلى حوالي (67%) من اجمالي كتلة الغاز المنبعث وإزالة H2S وصلت إلى (69%)(تم قياس نسب الغاز المنبعثة بواسطة جهاز \ gas \detector)

من الأيام السادس عشر وحتى اليوم الحادي والعشرون عند تطبيق تهوية بمقدار 0.1 $L_{O2}\backslash L_{feed}\backslash day$ تابع COD انخفاضه بنفس النسبة تقريبا أما بالنسبة ل SO_4 فقلت نسبة انخفاضه بشكل ملحوظ ويرجح ذلك لزيادة كمية الاكسجين إذا أنه عند زيادة كمية الاكسجين تعمل بكتريا SOB على إرجاع SO_4 إلى ($S_2O_3^{-2}$) وليس S^0 وبعدها تتم إعادة انتاج SO_4 من ($S_2O_3^{-2}$) كما في المعادلة :

$$2SO_4^{-2}+2H^+ \rightarrow S_2O_3^{-2}+H_2O+2O_2$$
$$2S_2O_3^{-2}+5O_2 \rightarrow 4SO_4^{-2}$$



الشكل رقم (1) يبين تغير قيم SO4 مع زيادة شدة التهوية في الهواضم اللاهوائية الخاضعة للتهوية المكروية Microaeration

أما بخصوص إزالة H2S فواصلت نسبته بالانخفاض مع زيادة شدة التهوية بسبب زيادة نشاط SOB كما في المعادلات:

$$H2S+0.5\,O_2 \rightarrow S^0+H_2O$$
$$S^0+H_2O+3/2\,O_2 \rightarrow SO_4^{-2}+2H^+$$
$$H_2S+2O_2 \rightarrow SO_4^{-2}+2H^+$$

ووصلت الإزالة باليوم الحادي والعشرين إلى (87%) ومع زيادة شدة التهوية الى 0.15 $L_{O2}\backslash L_{feed}\backslash day$ وصلت نسبة إزالة H2S الى 92%

بالنسبة لنسبة غاز الميتان المنبعث لم تتأثر بل ازدادت بشكل طفيف في اليوم 21 لتصل إلى 69.8% وكان انتاجهوكان انتاجه وفق المعادلة:

$$CO_2+4H_2=2H_2O+4CH_2$$

من الأيام الثاني والعشرون وحتى نهاية التجربة حين كانت شدة التهوية 0.15 $L_{O2}\backslash L_{feed}\backslash day$، استمر COD بالانخفاض بنسبة اكبر إلا أنه في الأيام الثلاثة الأخيرة ثبتت قيمته ولم تعد تتغير. وأصبحت SO_4 تنخفض بشكل بطئ جدا وذلك لان زيادة التهوية أدت الى إعادة تشكيله من نفسه وفق المعادلة:

$$2SO_4^{-2}+2H^+ \rightarrow S_2O_3^{-2}+H_2O+2O_2$$
$$2S_2O_3^{-2}+5O_2 \rightarrow 4SO_4^{-2}$$

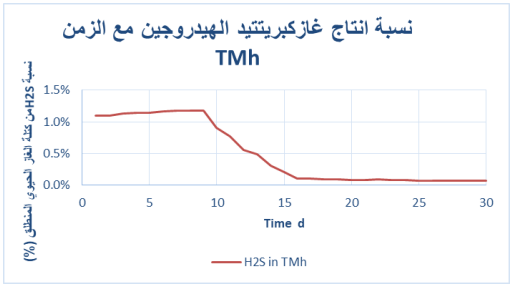
كما أن زيادة شدة التهوية أدت الى تحويل H_2S الى SO_4 كما في المعادلة :

$$S^0+H_2O+3/2\,O_2 \rightarrow SO_4^{-2}+2H^+$$
$$H_2S+2O_2 \rightarrow SO_4^{-2}+2H^+$$

بدلا من أكسدته الى S^0 كما في المعادلة:

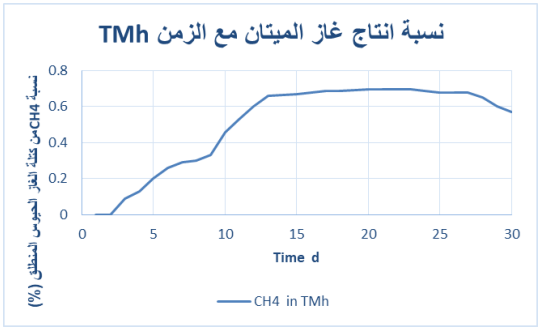
$$H2S+0.5\,O_2 \rightarrow S^0+H_2O$$

الامر الذي أدى الى تباطئ انخفاضSO_4



الشكل رقم(2) يوضح نسبة انخفاض H2S مع زيادة شدة التهوية في الهواضم اللاهوائية الخاضعة للتهوية المكروية Microaeration

انبعاث غاز الميتان ثبت عند اول يومين ثم بدأ بالانخفاض تدريجيا بسبب تأثر بكتريا الميتان بالأوكسجين حتى وصلت نسبته إلى(57%) في اليوم الثلاثون



الشكل رقم (3) يوضح نسب انبعاث CH4 مع زيادة شدة التهوية في الهواضم اللاهوائية الخاضعة للتهوية المكروية Microaeration

6. النتائج والتوصيات:

- نلاحظ أن ضخ الاكسجين ضمن الهاضم اللاهوائي كان مفيد في إزالة H2S من كتلة الغاز الحيوي المنبعث وكانت نسبته ازالته تزداد مع زيادة شدة التهوية.

- إن عملية ضخ الاكسجين ضمن الهاضم اللاهوائي هي عملية شديدة الحساسية ويجب دراسة حيثياتها بشكل دقيق قبل تطبيقها إذا أنها يمكن ان تؤثر على انتاج غاز الميتان نتيجة تأثر البكتريا المنتجة له بكمية الأوكسجين المضخوخة

- نسبة التهوية المناسبة لعمل الهاضم اللاهوائي والتي حسنت من مخرجاته وادت الى استقرار ه كانت $0.1LO_2\backslash L_{feed}\backslash day$ حيث أنها لم تؤثر على انتاج الميتان ووصلت نسبة إزالة H_2S الى 87% من نسبته الأولية وهو ما يتقارب مع العديد من الدراسات التي التي استخدمت نفس طريقة التهوية المكروية في تحسين عمل الهاضم اللاهوائي اذ أنه عندما تم تطبيق هذه الطريقة على عدد من محطات معالجة مياه الصرف الصحي في أوروبا الوسطى تم التوصل الى نسبة إزالة ل H2S تراوحت مابين 74% و 99%.

(P. Jeníček1, J. Horejš2 , L. Pokorná-Krayzelová1 , J.Bindzar1 , J. Bartáček,2017)

- كما ان نتائج هذه الدراسة تتقارب مع دراسة أخرى اجراها الباحثون (I.Ramos, M.pena, M.Fdz-Planco) في اسبانيا على هاضم لاهوائي مزود بركيزة حماة صرف صحي وتم تطبيق تهوية مكروية على الهاضم بمعدل 0.18 NL/Lfed ووصلت كفاءة إزالة H2S في اليوم الثالث عشر من بدء التهوية إلى 66%

(I.Ramos, M.pena, M.Fdz-Planco, 2014)

- إن تطبيق هذه التقنية مجال واسع ومازال بحاجة إلى المزيد من الأبحاث لفهم سلوك البكتريا بشكل أكبر ونوصي بتعميق الأبحاث في كمية الهواء المضخوخ

والعمل على دمج ركائز مختلفة كقش الذرة وروث الابقار وغيرها مع مأة الصرف الصحي إذا انها ممكن ان تعطي نتائج مختلفة فيما يخص زيادة ة الصرف الصحي اذا انها ممكن ان تعطي نتائج مختلفة فيما يخص زيادة CH4 وتقليل H2S.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل(501100020595).

by microaeration – Full scale experience, Anaerobe (2017), doi: 10.1016/ j.anaerobe.2017.01.002.

[11]Ramos, I., Díaz, I., Fdz-Polanco, M., 2012. The role of the headspace in hydrogen sulfide removal during microaerobic digestion of sludge. Water Sci. Technol.

[12] Rasi, S., Läntelä, J., Rintala, J. 2011 Trace compounds affecting biogas energy utilisation – a review. Energy Convers Manage 52:3369-3375.

[13] Speece, R.E., 2008. Anaerobic Biotechnology and Odor/Corrosion Control for Municipalities and Industries, first ed. Archaea Press, Nashville.

[14] Tang, Y., Shigematsu, T., Ikbal, Morimura, S., Kida, K., 2004. The effects of micro-aeration on the phylogenetic diversity of microorganisms in a thermophilic anaerobic municipal solid-waste digester. Water Res. 38, 2537–2550.

[15] Valdés, F., Muñoz, E., Chamy, R., Ruiz, G., Vergara, C., Jeison, D. 2006 Effect of sulphate concentration and sulphide desorption on the combined removal of organic matter and sulphate from wastewaters using expanded granular sludge bed (EGSB) reactors. Electron J Biotechnol 9:370-378.

[16] Visser, A., Beeksma, I., Vanderzee, F., Stams, AJM., Lettinga, G. 1993 Anaerobic degradation of volatile fatty-acids at different sulfate concentrations. Appl Microbiol Biotechnol 40:549-556.

References:

[1] Bothi, K. L., 2007. Characterization of biogas from anaerobically digested dairy waste for energy use. Gornell University.

[2] Dagoggo, S. M (1996) the Effect of Seeding with Bacteria on Biogas Production Rate, Renewable Energy 9 pp1045- 1048.

[3] Dasilva, E. J, (1978) Biogas Generation Development Problem and task, on the State of the Art of Bioconversion of Organic Residues, Guatemala City, pp 84-88.

[4] Devai, I., Delaune, R.D., 2002. Effectiveness of selected chemicals for controlling emission of malodorous sulfur gases in sewage sludge. Environ. Technol. 23, 319–329.

[5] Deublein, D., Steinhauser, A., 2008. Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction, first ed. Wiley-VCH, Weinheim.

[6]Gutierrez, O., Park, D., Sharma, K.R., Yuan, Z.G., 2010. Iron salts dosage for sulfide control in sewers induces chemical phosphorus removal during wastewater treatment. Water Res. 44, 3467–3475.

[7]Hollifield, E.A. (1985) Production and Utilization of Biogas, in Developing Countries, Prepared by GTZ, 1985, Eshbon.

[8] I.Ramos, M.pena, M.Fdz-Planco,2014 , Where does the removal of H2S from biogas occur in microaerobic reactors?, Department of Chemical Engineering and Environmental Technology, Escuela de Ingenierías Industriales, Sede Dr. Mergelina, University of Valladolid, Dr. Mergelina s/n, 47011 Valladolid, Spain.

[9]Kleinjan, W., 2005. Biologically produced sulphur particles and polysulphide ions. Effects on a biotechnological process for the removal of hydrogen sulphide from gas streams (Ph.D. thesis). Wageningen University, Wageningen.

[10] Jeníček P, Horejš J, Pokorná-Krayzelová L, Bindzar J, Bartáček J, Simple biogas desulfurization