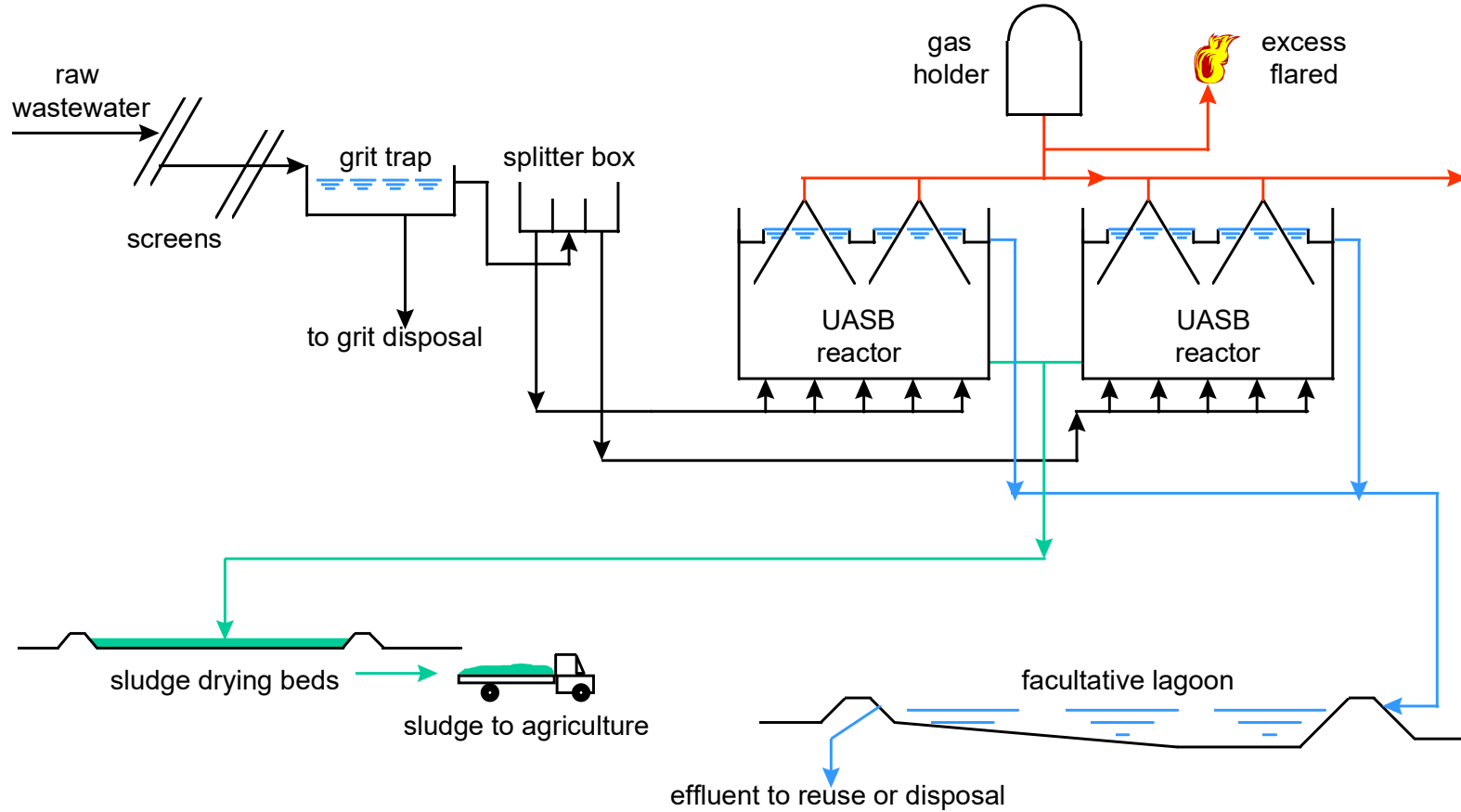


محاضرة بعنوان :

لمعالجة البيولوجية اللاهوائية لمياه الصرف الصحي



إعداد الدكتور المهندس عبد الله صغير

a.Saghir@weecd.com

مقدمة:

تطورت في السنوات القليلة الماضية وبشكل متسارع تقنيات وأساليب معالجة مياه الصرف الصناعي خصوصاً الصناعات ذات التي تتميز مياه صرفها بارتفاع الأحمال العضوية فيها نظراً لتأثيرها السلبي على محطات معالجة مياه الصرف الصحي المنزلي خصوصاً وعلى البيئة عموماً. وإن لمعالجة مياه الصرف الصناعي أهمية كبيرة في :

أولاً- حماية البيئة من التلوث المتوقع حدوثه نتيجة صرف هذه المياه، بما قد تحتويه من سموم وجراثيم ومواد غير متحللة ذات تأثير تراكمي، وما قد يتخلف عنها من مخاطر صحية وبيئية، وتلويث مصادر المياه السطحية والجوفية والأوساط الأحيائية فيها.

ثانياً- الحفاظ على سلامة المعالجة البيولوجية في محطات معالجة مياه الصرف الصحي.

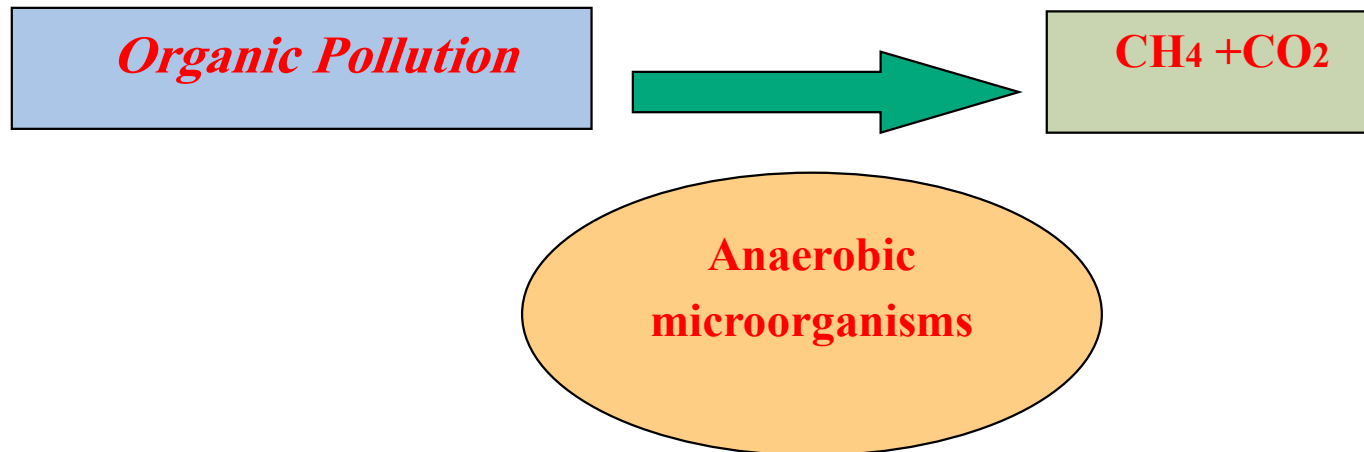
ثالثاً- توفير استخدام المياه النقية للاستهلاك العام، وحفظ موارد المياه النقية واستخدام المياه المعالجة في الزراعة وري الأراضي.

المعالجة اللاهوائية لمياه الصرف

تعريف:

المعالجة اللاهوائية هي معالجة حيوية للمياه الملوثة دون استخدام الهواء أو الأوكسجين في المعالجة.

تقوم الأحياء الدقيقة اللاهوائية بتحويل الملوثات العضوية إلى مزيج من غاز الميثان (CH_4) و(CO_2).



العمليات البيولوجية الحاصلة أثناء معالجة المياه

العمليات البيولوجية :

إن التحولات البيولوجية للمواد العضوية في محطات معالجة المياه تجري خلال عبر ثلاث خطوات :

• **الخطوة الأولى (Hydrolysis):** في العمليات هي تحويل المركبات ذات السلاسل المعقدة و الكتلة الجزيئية الكبيرة في وسط أنزيمي إلى مواد عضوية مناسبة للاستخدام وبسيطة تستخدم كمصدر للكربون وكمصدر للطاقة .

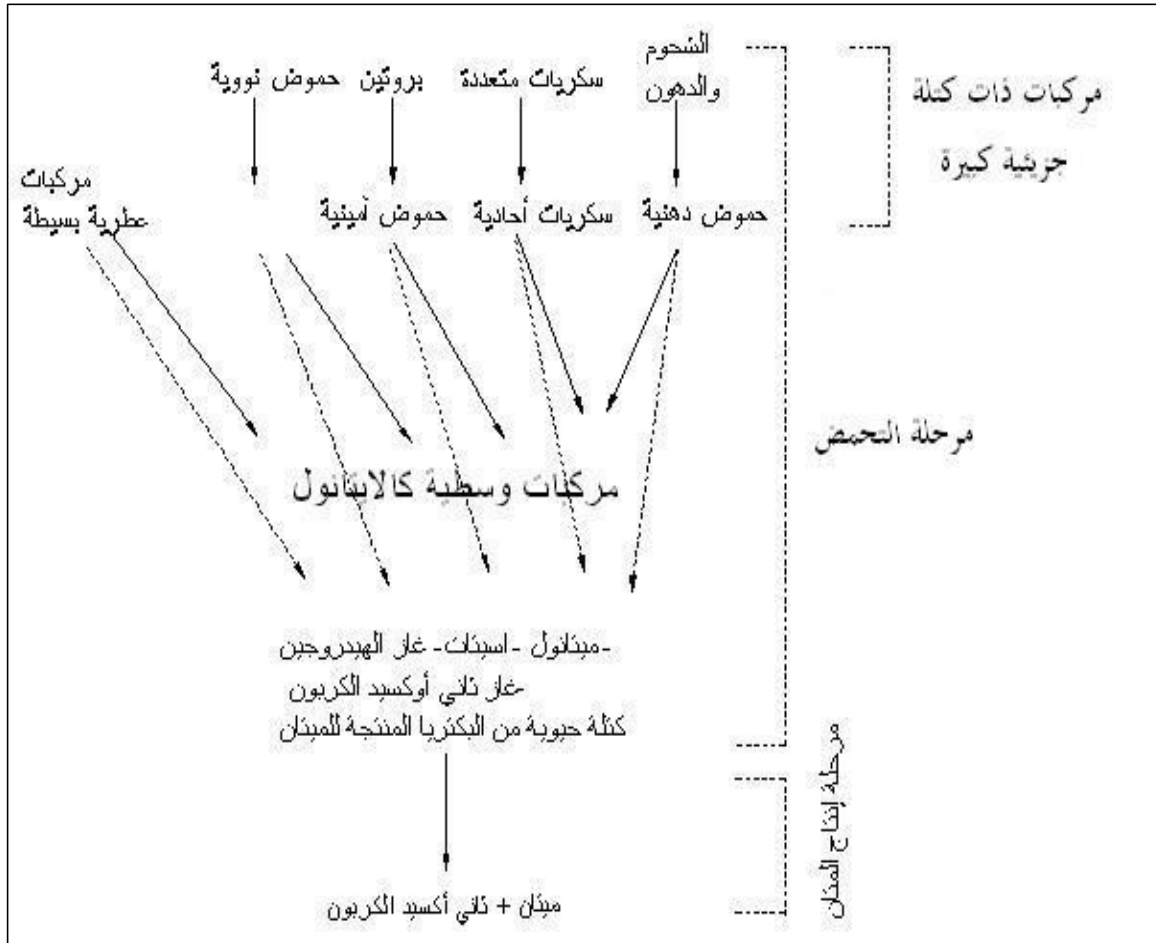
(1) الشحوم والدهون تحول إلى حموض دهنية.

(2) البروتين تتحول إلى حموض أمينية .

(3) السكريات المتعددة إلى مركبات سكرية بسيطة

• **الخطوة الثانية :** الخطوة ذات التحولات الحامضية (Acidogenesis) وتشمل تحولات بكتيرية للمركبات الناتجة عن المرحلة الأولى إلى مركبات محددة وسيطة (إنتقالية) ذات كتل جزيئية أقل .

• **الخطوة الثالثة :** مرحلة البكتيريا المنتجة للمتان (Methanogenesis): وتشمل تحولات بكتيرية للمركبات الانتقالية إلى مركبات بسيطة و منتجات نهائية كغاز (CO₂ و CH₄) .



خلال العقود الثلاثة الماضية تطور العديد من عمليات المعالجة البيولوجية اللاهوائية للحماة ولمعالجة مياه الصرف ذات الحمل العضوي العالي. إن أكثر العمليات شيوعاً في العصر الحالي طريقة المزج الكامل بالهضم اللاهوائي.

ويعتقد أن التحول البيولوجي للمواد العضوية الموجودة في مياه الصرف المعرضة للمعالجة اللاهوائية يتم عبر مراحل ثلاث، كما في الشكل

مراحل التحول البيولوجي للمواد العضوية الموجودة في مياه الصرف المعرضة للمعالجة اللاهوائية

حيث تتضمن المرحلة الأولى - عملية التحلل في وسط أنزيمي للمركبات ذات الكتلة الجزيئية الكبيرة، عملية التحلل هذه تحول هذه المركبات إلى مركبات ملائمة لاستعمال البكتريا كمصدر للطاقة وكمصدر لكربون الخلية البكتيرية.

تتضمن المرحلة الثانية من مراحل التحول البيولوجي تحويل المركبات التي نتجت من المرحلة الأولى إلى مركبات وسطية أقل كتلة جزيئية، ويمكن أن تدعى هذه المرحلة بمرحلة التخمض. تتضمن المرحلة الثالثة (مرحلة إنتاج الميثان) التحويل البكتيري للمركبات الوسطية إلى منتجات نهائية أكثر بساطة. هي الميثان وثاني أكسيد الكربون.

في مفاعل الهضم اللاهوائي يعمل مزيج منسجم من المتعضيات اللاهوائية لإنجاز المراحل المذكورة أعلاه، حيث تكون هناك مجموعة من المتعضيات الدقيقة مسؤولة عن تحويل البوليميرات والدهون والشحوم إلى زمر ذات صيغ إنشائية مبسطة، مثل أحاديات السكر والحموض الأمينية والمركبات المتعلقة بها.

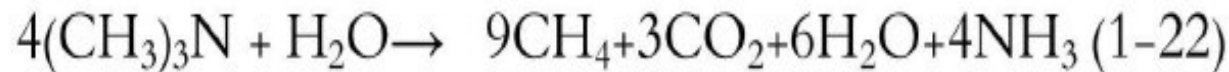
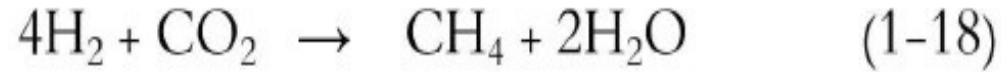
تقوم مجموعة ثانية من البكتريا اللاهوائية بتخمير المنتجات المتفككة إلى حموض عضوية مبسطة والتي من أكثرها شيوعاً هو حمض الخل، هذه المجموعة من المتعضيات والتي توصف بأنها غير صانعة للميتان هي بكتريا اختيارية وبكتريا لا هوائية وهي تعرف بأنها صانعة الحمض.

بالإضافة إلى ذلك فهناك مجموعة ثالثة من المتعضيات الدقيقة تحول الهيدروجين وحمض الخل المتشككين من قبل صانعات الحمض إلى ميتان وثاني أكسيد الكربون وإن البكتريا المسؤولة عن هذا التحول هي لاهوائية بشكل صارم وتدعى البكتريا صانعة الميتان، وإن من أهم البكتريا صانعة الميتان هي البكتريا التي تستهلك الهيدروجين وحمض الخل.

هذه الأنواع من البكتيريا بشكل عام ذات معدل نمو بطيء جداً، مما يعتبر من الأمور السلبية في مجال معالجة مياه الصرف، وبشكل عام فإننا يمكن أن نعتبر أنه قد تم الحصول على استقرار جيد للحمأة عندما نحصل على إنتاج الميثان وثاني أكسيد الكربون في منشأة المعالجة.

إن غاز ثاني أكسيد الكربون هو غاز شديد الانحلال في الماء ، أما غاز الميثان فهو ضعيف الانحلال في الماء وبالتالي فإن انطلاقه من الماء يعني أن المعالجة قد وصلت إلى حد جيد.

من المهم أن نلاحظ أن البكتريا صناعة الميثان تستطيع أن تستعمل كمية محدودة فقط من المواد العضوية والمغذيات (Substrate) من أجل تشكيل الميثان فهي تستهلك فقط H_2 و CO_2 بالإضافة إلى الحموض و الميثانول و أمينات الميثيل و أحادي أكسيد الكربون، و إن تفاعلات التحول النموذجية التي تنتج الطاقة هي كما يأتي:



وفي مفاعل المعالجة اللاهوائية فإن الطريقتان الرئيسان لتشكيل الميثان هما:

1- تحويل الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون إلى ميثان وماء، كما في المعادلة (18).

2- تحويل الأسيتات (الخلات) إلى ميثان و ثاني أكسيد الكربون، كما في المعادلة (1-20)

وكما في الشكل (1-6)، و في منشآت معالجة مياه الصرف اللاهوائية يجب أن نحافظ على

توازن دائم بين البكتريا صانعة الميثان، وغير صانعة الميثان لكي نحصل على كفاءة معالجة

جيدة، ولكي نؤمن هذا التوازن فإن المفاعل يجب أن يكون خالياً من الأوكسجين المنحل، و يجب

أن لا يحوي السائل على كميات كبيرة من المعادن الثقيلة و الكبريتيت، و أيضاً يجب أن تكون

قيمة pH للسائل متراوحة بين 6.6 و بين 7.6، و أن تكون هناك كمية كافية من المركبات

القلوية في الماء لكي نضمن عدم انخفاض pH عن 6.2، لأن بكتريا الميثان لن تستطيع أن

تنشط تحت قيمة pH أقل من 6.2 .

- المواد ذات قابلية التفكك البيولوجي اللاهوائي:

تتميز المعالجة البيولوجية اللاهوائية بقابلية تفكيكها لمجال واسع من المواد العضوية فهي قادرة على تفكيك السكريات الأحادية والسكريات المتعددة، و قادرة على تفكيك البروتينات والحموض الأمينية مثل بروتين البطاطا والبروتينات الموجودة في الحليب وغيرها، ولها القدرة على تفكيك الدهون والحموض الدهنية ذات السلاسل الكبيرة، وكذلك لها القدرة على تفكيك مركبات الكحول البسيطة مثل الميثانول والإيثانول، ولها القدرة أيضاً على تفكيك مركبات فورمالدهيد، ومركبات الفينول وحموض البنزن والألدهيدات وكلورات الفينولات والمركبات العطرية.

-المواد المعيقة للبكتريا المنتجة للميتان:

كما مر معنا، إن المعالجة البيولوجية اللاهوائية تتم عبر ثلاث مراحل، المرحلة الثالثة منها هي مرحلة صناعة الميتان أي التحويل البكتيري للمركبات الوسطية إلى منتجات نهائية أكثر بساطة، هي الميتان وثنائي أكسيد الكربون، ومع ذلك فإن هناك مواد وعناصر يمكن أن تحد من فعالية البكتريا المنتجة للميتان، هذه المواد والعناصر يمكن تلخيصها في الجدول :

الجدول معيقات عمل البكتريا المنتجة للميتان

ملاحظات	السمية	تصنيف المركبات
IC50 = 1250-500 ملغ/ل	سامة	الدهون والحموض الدهنية ذات السلاسل الطويلة
غير سامة عند pH يتراوح بين 7 و 8 والسمية تعتمد على pH الناتج عن الحموض الدهنية الطيارة غير المتشردة فمثلاً: IC50 للاسيئات والبروبيونات هي 6-16 ملغ /ل من الحموض الدهنية الطيارة غير المتشردة	سامة	الحموض الدهنية الطيارة
IC50 = 1 ملغ /ل للحمأة غير المتكيفة IC50 = 25 ملغ /ل للحمأة المتكيفة	شديد السمية جداً	السيانيد
IC50 = 100 ملغ /ل للحمأة غير المتكيفة IC50 = 400 ملغ /ل للحمأة المتكيفة	شديد السمية	فورم الدهيد

<p>السمية تعتمد على pH مياه الصرف الناتج عن الأشكال غير المتشردة لمركبات الكبريتيد، أي H_2S الحر الموجودة في مياه الصرف</p> <p>IC50 = 250 ملغ/ل من الكبريت الموجود في H_2S الحر</p> <p>تكون الكبريتات سامة فقط في التراكيز العالية</p> <p>IC50 = 3300 ملغ/ل من الكبريت الموجود في شاردة SO_4^{2-}</p> <p>IC50 = 50 ملغ/ل من الكبريت الموجود في شاردة SO_3^{2-}</p>	<p>شديد السمية جداً</p> <p>غير سامة</p> <p>شديدة السمية جداً</p>	<p>مركبات الكبريت غير العضوية</p> <p>1- الكبريتيد (سولفيد)</p> <p>2- الكبريتات</p> <p>3- شاردة الكبريتيت الثلاثية (السولفيت)</p>
<p>السمية تعتمد على pH مياه الصرف الناتج عن الأشكال غير المتشردة لمركبات الأمونيا، أي NH_3 الحر</p> <p>IC50 = 50 ملغ/ل من النتروجين الموجود في شاردة NH_3</p>	<p>سامة جداً</p>	<p>الأمونيا</p>
<p>بعض المعادن الثقيلة شديدة السمية وخصوصاً عندما تكون بالشكل المنحل مثل النحاس المنحل والذي له قيمة IC50 = 10-75 ملغ/ل ولكن غالباً ما تزال سمية المعادن الثقيلة في أنظمة المعالجة اللاهوائية وذلك بترسيبها على شكل كبريتات أو كربونات المعادن الثقيلة</p>	<p>شديدة السمية جداً</p>	<p>المعادن الثقيلة</p>

<p>فقط في التراكيز العالية IC50 -4700 -7600 ملغ/ل</p>	<p>سامة</p>	<p>الأملاح (مثل K⁺, Na⁺ (Ca²⁺</p>
<p>على سبيل المثال : البنزن IC50 -1970 ملغ/ل ايتل البنزن IC50 -340 ملغ/ل IC50 -1300 ملغ/ل IC50 << 4250 ملغ/ل بناكلورالفيينول IC50 -1 ملغ/ل على سبيل المثال :مركب نترو البنزن IC50 =10 ملغ/ل على سبيل المثال :مركب الأثيلين IC50 -900 ملغ/ل</p>	<p>سامة سام سامة سام شديدة السمية جداً شديد السمية جداً شديدة السمية جداً سامة</p>	<p>المركبات العطرية 1- المركبات العطرية الهيدروكربونية 2- الفينول 3- حموض البنزن 4- ألدهيد البنزن 5- كلوريدات الفينول 6 - كلور البنزن 7- مركبات النترو العطرية 8- الأمينات العطرية</p>
<p>على سبيل المثال : مركب الكلوروفورم IC50 =0.5 ملغ/ل للحمأة غير المتكيفة IC50 -45 ملغ/ل للحمأة المتكيفة</p>	<p>شديدة السمية جداً</p>	<p>المركبات الأليفاتية</p>

		المركبات الهيدروكربونية الأليفاتية الكلورة
المنظفات موجبة أو سالبة الشحنة IC50= 20 - 50 ملغ/ل	سامة جداً	المركبات ذات الفعالية السطحية
شديدة التغيير	سامة/أو غير سامة	أصبغة آزو
على سبيل المثال مركبات جيوكول IC50=2200 ملغ/ل السلاسل الكربونية يوجينول الفينول IC50=264 ملغ/ل	غير سامة	مركبات الفيتو كيميائية 1- بوليمر ليجينين ذي الوزن الجزئي الكبير
على سبيل المثال باينين IC50=180 ملغ/ل على سبيل المثال الأبيتان IC50=140 ملغ/ل على سبيل المثال حمض التانيك الداغ IC50 =350 ملغ/ل.	سامة جداً	2- مركبات بوليمر أحادي الهجين
مركبات حمض التانيك ذات الكتلة الجزئية الكبيرة غير سامة	شديدة السمية جداً شديد السمية جداً سام جداً	3- التربينات الطيارة 4- راتنج الخشب 5- حمض التانيك

IC50 : التركيز المؤدي لإعاقة 50 % من البكتريا ، أو بمعنى آخر هو التركيز

الذي يثبط نشاط البكتريا بنسبة 50% من فعاليتها.

- محاسن ومساوئ معالجة مياه الصرف الصحي والصناعي بالطرق
اللاهوائية:

أ- محاسن المعالجة اللاهوائية :

الطاقة اللازمة لتشغيل المفاعلات اللاهوائية لمعالجة مياه الصرف صغيرة جداً مقارنة مع طرق المعالجة الهوائية أو الاختيارية ،لأنه في طرق المعالجة الهوائية نحتاج 0.5-0.7 كيلو واط ساعي لإزالة 1 كيلو غرام COD أما في المعالجة اللاهوائية فلا حاجة لوجود أجهزة تهوية في المفاعلات. تعطي كمية قليلة من الحمأة، حيث إن كل 1 كغ COD مزال في الطريقة اللاهوائية يتحول أكثر من 75-90 % إلى غاز ميثان، والباقي والذي هو أقل من 10-25% يتحول إلى حمأة بينما في طرق المعالجة الهوائية 1 كغ COD مزال يتحول إلى 50% حمأة والباقي غاز CO₂ وبخار الماء،وبالتالي فإن كمية الحمأة الناتجة عن المعالجة اللاهوائية تعادل 20% من كميتها في المعالجة الهوائية.

يمكن تشغيل المفاعلات البيولوجية اللاهوائية على معدلات تحميل عضوية أكبر بـ 5-10 مرات من معدلات تشغيل المفاعلات الهوائية ، مما يصغر حجم المفاعلات عند استخدامها في معالجة مياه الصرف الناتجة عن الصناعات شديدة التلوث.

يمكن في المعالجة اللاهوائية تحويل العديد من المذيبات الخطرة كالكلوروفورم إلى أشكال سهلة التفكك.

مقاومة للمواد السامة والمواد المثبطة لنمو البكتيريا بشكل أكبر بكثير من البكتيريا الهوائية .

ب- مساوىء المعالجة اللاهوائية :

زمن إقلاع المفاعلات اللاهوائية كبير بالمقارنة مع المفاعلات الهوائية، وذلك بسبب صغر معدل الاصطناع الحيوي (إنتاج الحمأة)، وبالتالي تحتاج المفاعلات اللاهوائية زمناً كبيراً من أجل تحقيق الحالة المستقرة.

زمن استعادة الحالة المستقرة في المفاعلات اللاهوائية كبير بالمقارنة مع المفاعلات الهوائية، فالمفاعلات اللاهوائية التي يحدث فيها أحياناً خروج للحمأة خارج المفاعل بشكل غير صحيح، أو التي تتعرض لصدمات من مواد سامة تحتاج لوقت أطول من المفاعلات الهوائية لاستعادة حالتها المستقرة.

تحتاج المفاعلات اللاهوائية مواد مغذية خاصة ليتم عملها بشكل فعال فمثلاً البكتيريا المنتجة للميثان تحتاج إلى بعض الشوارد المعدنية الخاصة كشوارد الحديد وشوارد الكوبالت لكي تعمل بشكل فعال.

يمكن تشغيل المفاعلات البيولوجية اللاهوائية على معدلات تحميل عضوية أكبر بـ 5-10 مرات من معدلات تشغيل المفاعلات الهوائية ، مما يصغر حجم المفاعلات عند استخدامها في معالجة مياه الصرف الناتجة عن الصناعات شديدة التلوث.

يمكن في المعالجة اللاهوائية تحويل العديد من المذيبات الخطرة كالكلوروفورم إلى أشكال سهلة التفكك.

مقاومة للمواد السامة والمواد المثبطة لنمو البكتريا بشكل أكبر بكثير من البكتريا الهوائية

أكثر تأثراً بالشروط البيئية من البكتريا الهوائية، وخصوصاً البكتريا المنتجة للميتان، فهي أكثر تأثراً بتغير قيمة pH أو درجة الحرارة. من البكتريا الهوائية.

تتأثر فعالية البكتيريا المنتجة للميتان بوجود شوارد الكبريت والكبريتات في مياه الصرف الغنية بالكبريتات.

صفات مياه الصرف الناتجة عن المعالجة اللاهوائية أقل جودة من صفات مياه الصرف الناتجة عن المعالجة الهوائية، وذلك لأن التركيز الأصغري للملوثات الواجب توفرها في مياه الصرف حتى تعمل البكتريا اللاهوائية بشكل فعال وتحافظ على بقائها أكبر منه مقارنة مع البكتريا الهوائية ، لذلك فإنه قد تبقى بعض المواد العضوية في مياه الصرف المعالجة بالطرق اللاهوائية غير متفككة، الأمر الذي قد لا يحقق الشروط البيئية الخاصة بتصريف مياه الصرف المعالجة.

.

عند معالجة مياه الصرف الغنية بالبروتين أو النتروجين بالطرق اللاهوائية يبقى النتروجين في مياه الصرف دون معالجة، وذلك لأن تفكيك وتحلل البروتين يعطي أمينات، والتي سرعان ما تتفكك لتعطي أخيراً النتروجين الذي يتطلب معالجة هوائية لتحويل هذا النتروجين إلى مركبات نترات، وأخيراً نحتاج إلى معالجة منقوصة الأكسجين للتخلص من هذا النترات

المواد ذات قابلية التفكك البيولوجي اللاهوائي:

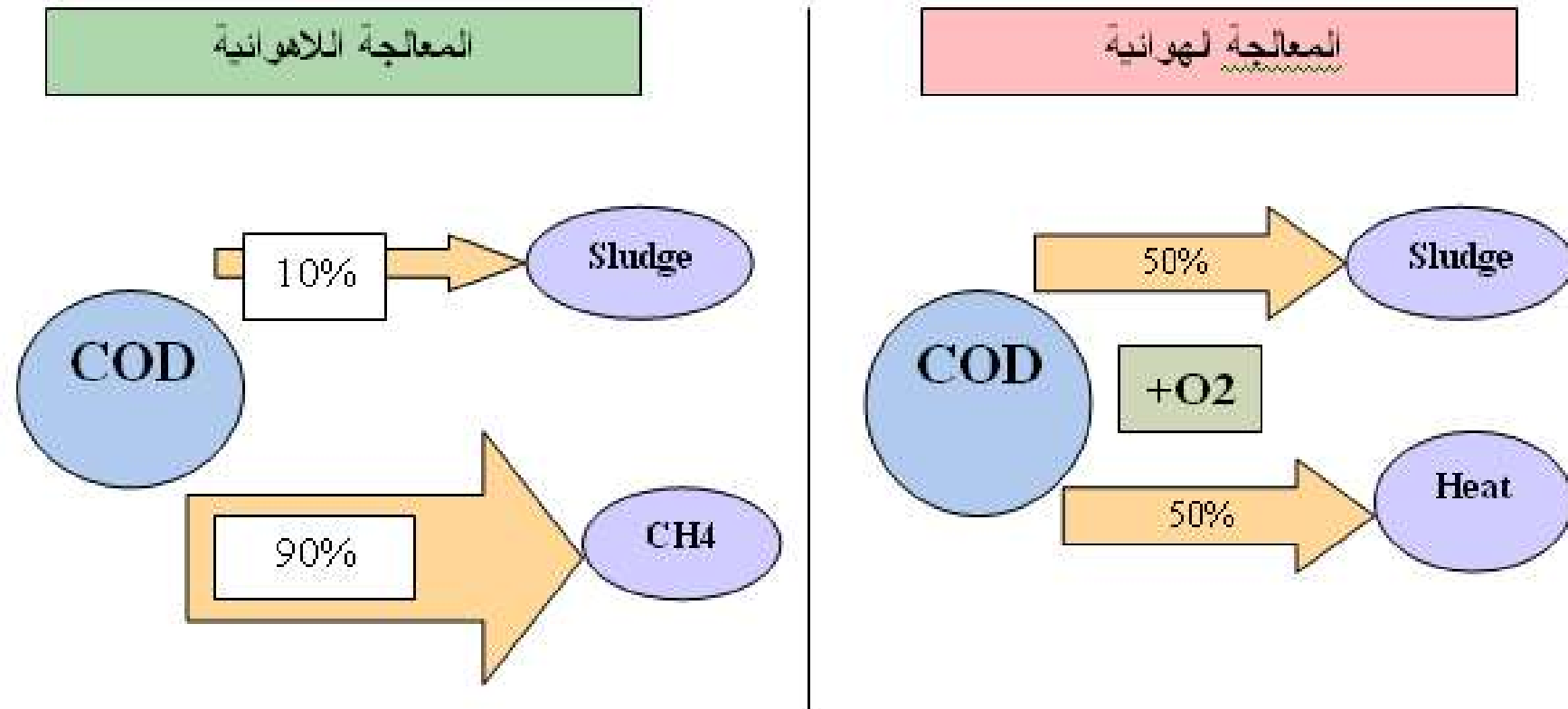
تتميز المعالجة البيولوجية اللاهوائية بقابلية تفكيكها لمجال واسع من المواد العضوية فهي قادرة على تفكيك السكريات الأحادية والسكريات المتعددة مثل السيللوزية و النشاء و قادرة على تفكيك البروتينات والحموض الأمينية مثل بروتين البطاطا والبروتينات الموجودة في الحليب..... ولها القدرة على تفكيك الدهون والحموض الدهنية ذات السلاسل الكبيرة وكذلك لها القدرة على تفكيك مركبات الكحول البسيطة مثل الميثانول والإيثانول.... ولها القدرة أيضاً على تفكيك مركبات فورمالدهيد ومركبات الفينول وحموض البنزن والألدهيدات وكلورات الفينولات والمركبات العطرية.. هذا المجال الواسع لقدرة البكتريا اللاهوائية على تفكيك المواد العضوية البسيطة و المعقدة جعل استخدام المفاعلات اللاهوائية في معالجة مياه الصرف ذات المنشأ الصناعي يزداد يوماً بعد يوم .

محاسن ومساوى معالجة مياه الصرف الصحي والصناعي
بالطرق اللاهوائية

مقارنة بين عمليات المعالجة الهوائية واللاهوائية

المعالجة اللاهوائية	المعالجة الهوائية	مجال المقارنة
مرتفع في عمليات المعالجة اللاهوائية وذلك للمفاعلات UASB و AF ... و ويتراوح بين ١٠-٤٠ كغ COD / م ^٣ يوم	منخفض في عمليات الحمأة المنشطة ويتراوح بين ٠,٥-١,٥ كغ COD / م ^٣ يوم	معدل الحمل العضوي في واحدة الحجم
منخفض ويتراوح بين ٠,٠٥-٠,١٥ كغ VSS / كغ COD	مرتفع ويتراوح بين ٠,٣٧-٠,٤٦ كغ VSS / كغ COD	معدل إنتاج البيوماس (الكتلة الحيوية أو الحمأة)
طويل وهو حوالي: ١-٢ شهر في درجة حرارة ٣٥-٤٠ درجة مئوية ٢-٣ شهر في درجة حرارة ٤٠-٥٠ درجة مئوية	قصير ويتراوح بين ١-٢ أسبوع	زمن الإقلاع
كبير وذلك ضروري للحفاظ على النمو البطيء للبكتريا المنتجة للميثان ضمن المفاعل	٤-١٠ يوم يكفي في عمليات الحمأة المنشطة	زمن مكوث المواد الصلبة في المفاعل (SRT)
تتم عبر مراحل متعددة للأحياء الدقيقة و عبر مراحل متلاحقة	غالباً ما يسيطر نوع واحد من الأحياء الدقيقة ضمن المفاعل الهوائي	ميكروبيولوجيا النظام
شديدة التأثير	قليلة التأثير	التأثر بالظروف البيئية

المقارنة بين الطريقتين الهوائية واللاهوائية



مقارنة كمية (COD) بين الطريقتين الهوائية واللاهوائية

بعض طرق وأشكال المفاعلات البيولوجية اللاهوائية

1- عمليات المعالجة البيولوجية اللاهوائية ذات التماس

Anaerobic contact process (ACP)

2- المرشح البيولوجي اللاهوائي

Anaerobic filter

3- المفاعل اللاهوائي ذو الجريان العلوي عبر طبقة الحمأة المعلقة

Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

4- المفاعل ذو السرير المتمدد اللاهوائي :

Expanded bed reactor (EBR)

5- المفاعل اللاهوائي ذو السرير المميع :

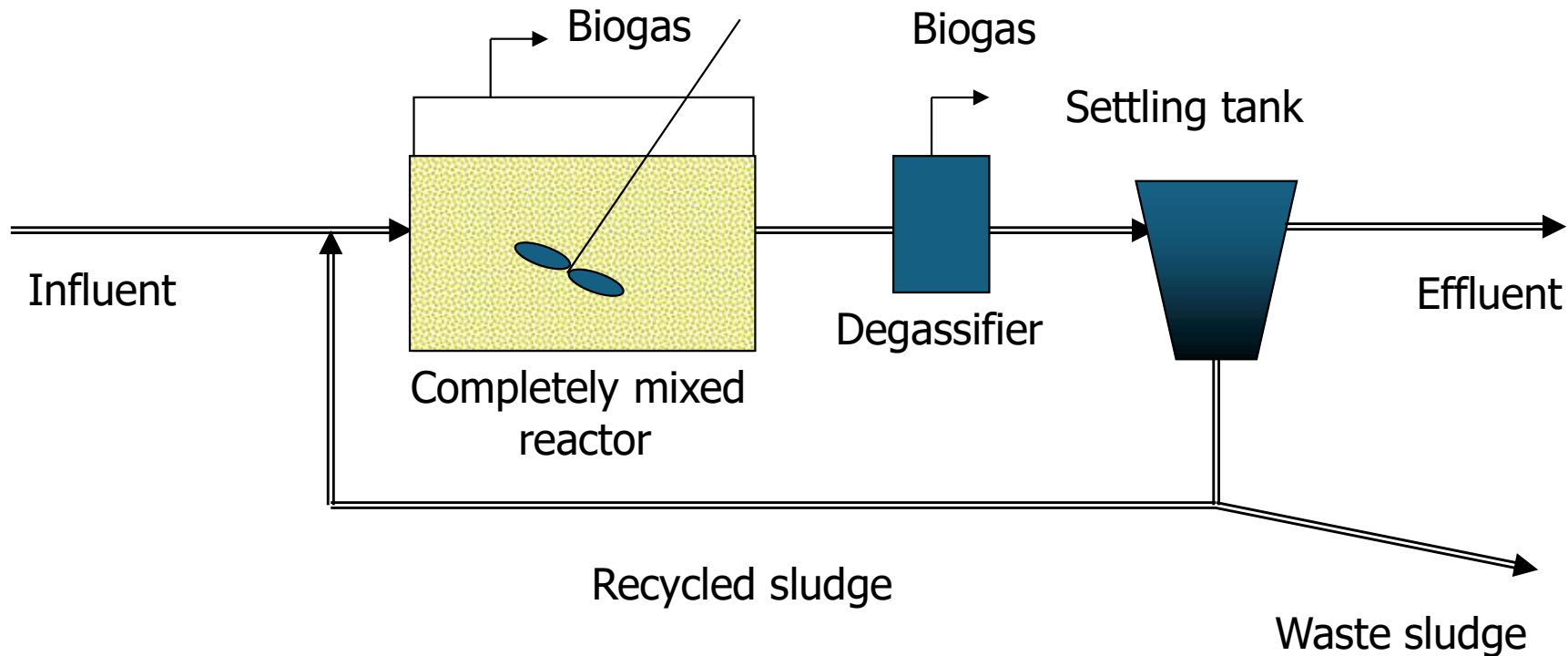
Fluidized bed reactor (FBR)

6- المفاعل اللاهوائي الموجه

Anaerobic baffled reactor

1- عمليات المعالجة البيولوجية اللاهوائية ذات التماس Anaerobic contact process (ACP)

إن عملية المعالجة (ACP) هي طريقة معالجة بالحماة المنشطة اللاهوائية وتتألف من حوض لاهوائي ذي مزج كامل ومن هاضم لاهوائي وأخيراً حوض ترسيب نهائي ويتم إعادة الحماة اللاهوائية المنشطة من حوض الترسيب النهائي إلى بداية حوض المزج الكامل ويتم إنتاج غاز المتان في الأقسام اللاهوائية من هذه المحطة كما موضح هو في الشكل الآتي :



إن الهدف الرئيسي من وجود الهاضم بعد حوض المزج الكامل السماح لجزيئات غاز CO₂ وغاز CH₄ بالإنفصال عن حبيبات الحمأة الملتصقة بها ,حيث تصعد فقاعات الغاز إلى الأعلى ليتم سحبها.

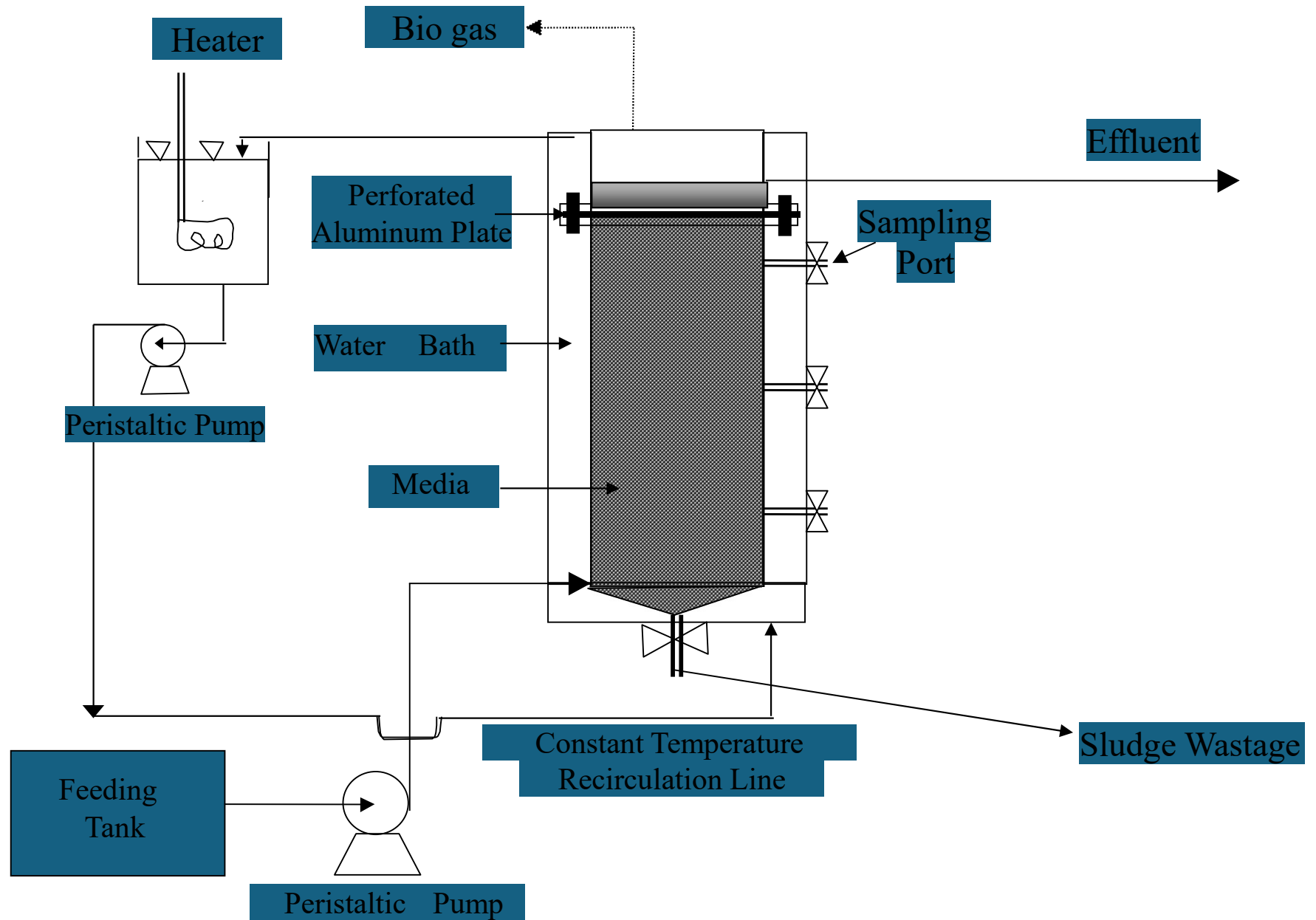
تستخدم هذه الطريقة من المعالجة لمعالجة مياه الصرف التي تحوي على مواد معلقة بتركيز عال وذلك من أجل تسهيل عملية تشكل الندف البيولوجية القابلة للترسيب.

إن تركيز البيوماس في حوض المزج الكامل يتراوح بين (4000-6000)ملغ/ل ويمكن أن يصل حتى (25000-30000)ملغ/ل وهذا يتعلق بالطبيعة الترسبية للحمأة المعادة.

يبلغ معدل التحميل العضوي الحجمي في حوض المزج الكامل اللاهوائي بين (0.5-10) كغ COD/م³.يوم

- إن زمن مكوث المواد الصلبة اللازم SRT: يمكن تحقيقه وذلك بالتحكم بكمية الحمأة المنشطة اللاهوائية المعادة وفقا لأسس المعالجة البيولوجية المتبعة في طريقة المحمأة المنشطة

2- المرشح البيولوجي اللاهوائي Anaerobic filter



- الجريان في المرشح البيولوجي اللاهوائي من الأسفل إلى الأعلى.
- ينتج عن المعالجة اللاهوائية في هذا المفاعل غاز الميثان CH_4 الذي يمكن استرجاعه والإستفادة منه في عمليات توليد الكهرباء.
- تنتج عن عملية المعالجة في هذا المفاعل كمية قليلة من الحمأة.

- معدل الحمولة العضوية الحجمية في هذا المفاعل يتراوح بين (5-15) كغ COD/m^3 يوم ويتميز هذا المفاعل كغيره من طرق المعالجة البيولوجية اللاهوائية بزمن مكوث كبير للمواد الصلبة SRT أمّا زمن المكوث الهيدرليكي HRT في هذا المفاعل فيتراوح بين (0.5-4) يوم.

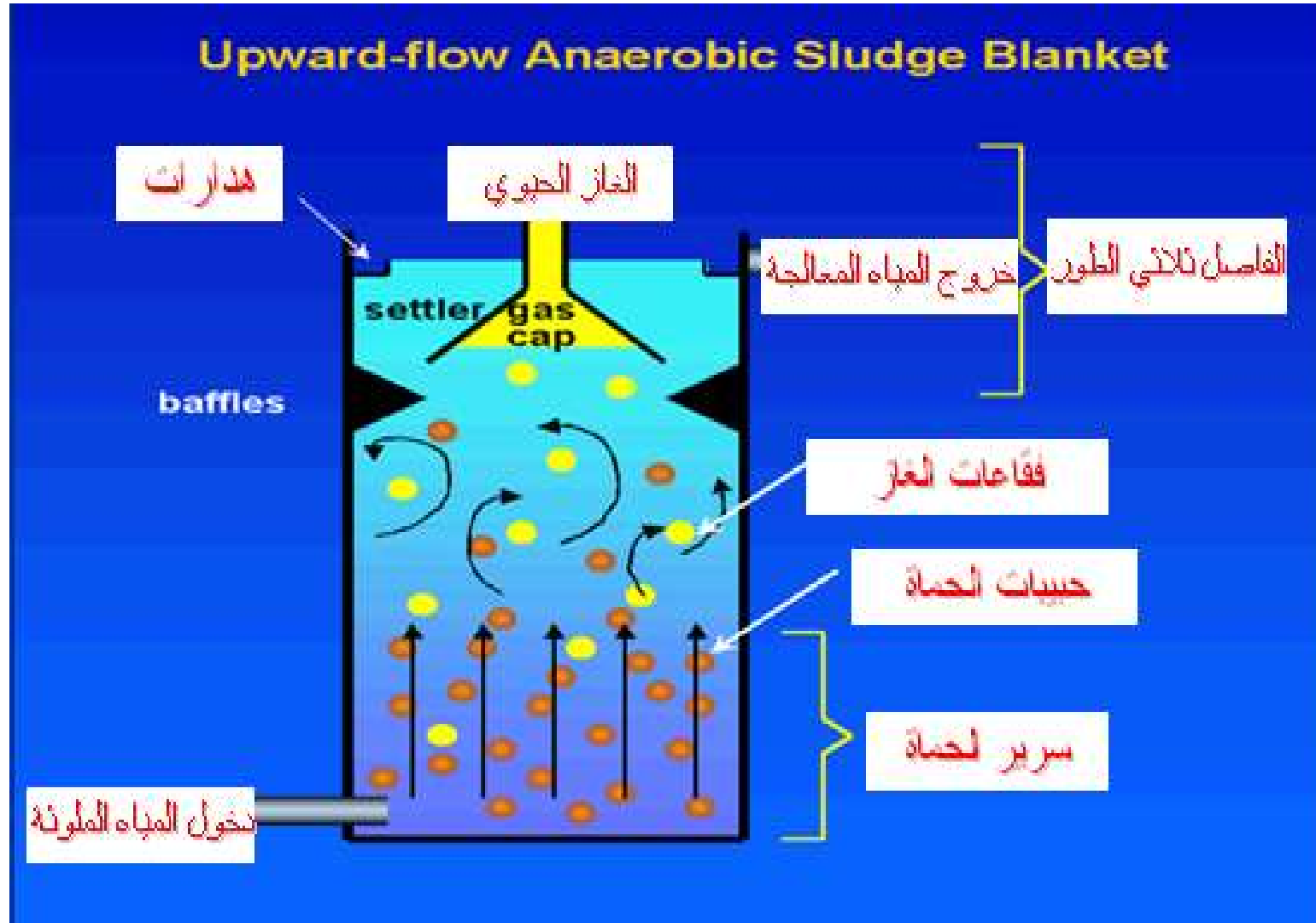
- يفضل ان يكون تركيز المواد المعلقة TSS في مياه الصرف الداخلة إلى المرشحات البيولوجية اللاهوائية صغيراً وذلك لمنع انصطام المفاعل، لذلك يفضل أن يسبق هذا المفاعل حوض ترسيب أولي أو حوض تطويق.

- يملأ عادة بوسط حامل للبكتريا النسبة المئوية لهذا الوسط في المفاعل بحدود (40-50) من حجم المفاعل.
- يمكن استخدام عدّة مواد كوسط حامل (الميديا) للبكتريا كالبحبيبات البلاستيكية وغيرها ويوجد في حالياً مواد بلاستيكية ذات سطح نوعي كبير يصل حتى 100م²/م³ وإن أشكال الميديا مبينة في الشكل الآتي :



3- المفاعل اللاهوائي ذو الجريان العكسي عبر طبقة الحمأة المعلقة Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

موضح في الشكل الآتي: UASB الشكل العام للمفاعل



مبدأ المعالجة في المفاعل UASB

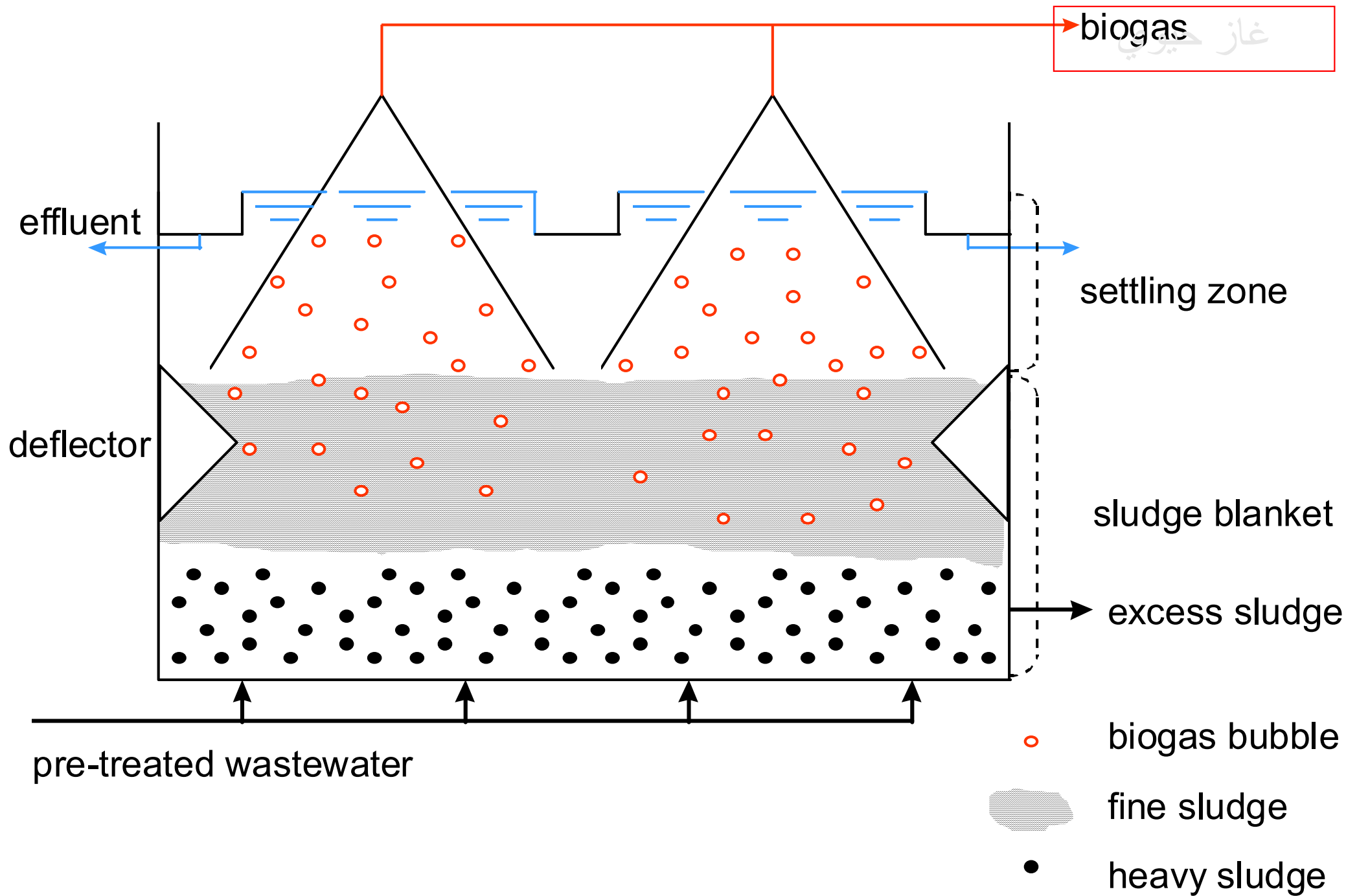
في مفاعل UASB يدخل الماء المطلوب معالجته من قاع المفاعل و يجري باتجاه الأعلى عبر طبقة الحمأة المولفة من حبيبات أو جزيئات متشكلة بيولوجياً.

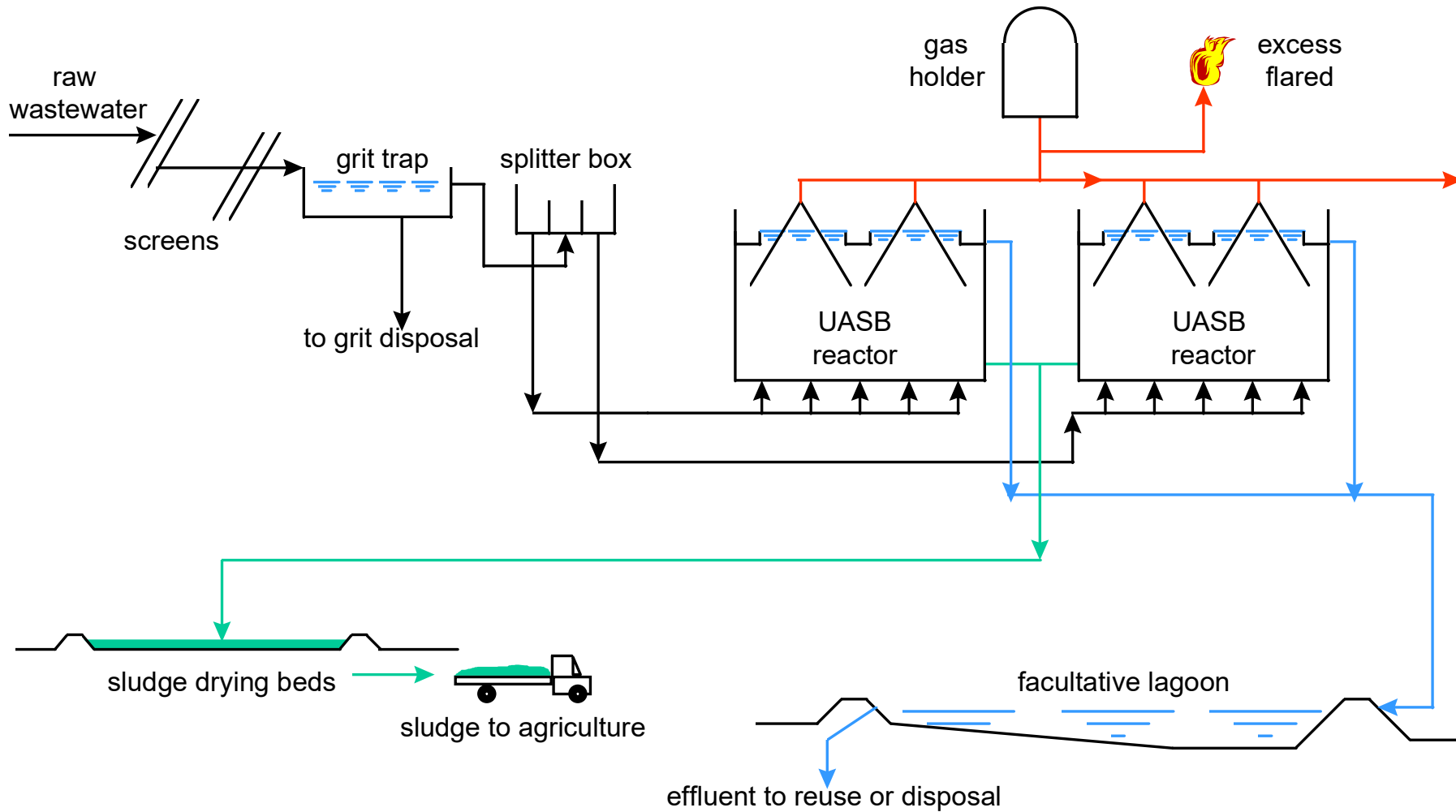
حيث يمكن أن يوصف المفاعل UASB كنظام تمر فيه مياه الصرف أولاً عبر سرير حمأة متمدّد يحتوي على تركيز كبير من الكتلة الحيوية, ويمكن أن توجد هذه الحمأة في المفاعل بشكل حبيبات وإن القسم الأعظم من المعالجة يحدث في سرير الحمأة هذا. وإن القسم المتبقي من الملوثات في الماء يمر بعدها عبر ما يدعى بطبقة الحمأة المعلقة والتي هي أقل كثافة من ما هو واقع أسفل منها من حمأة وإن تأمين حجم كاف لطبقة الحمأة المعلقة فوق سرير الحمأة هو أمر ضروري لتأمين معالجة لاحقة لملوثات مياه الصرف والتي مرت عبر سرير الحمأة بدون معالجة بسبب تشكل أقنية عشوائية في سرير الحمأة في بعض المواقع.

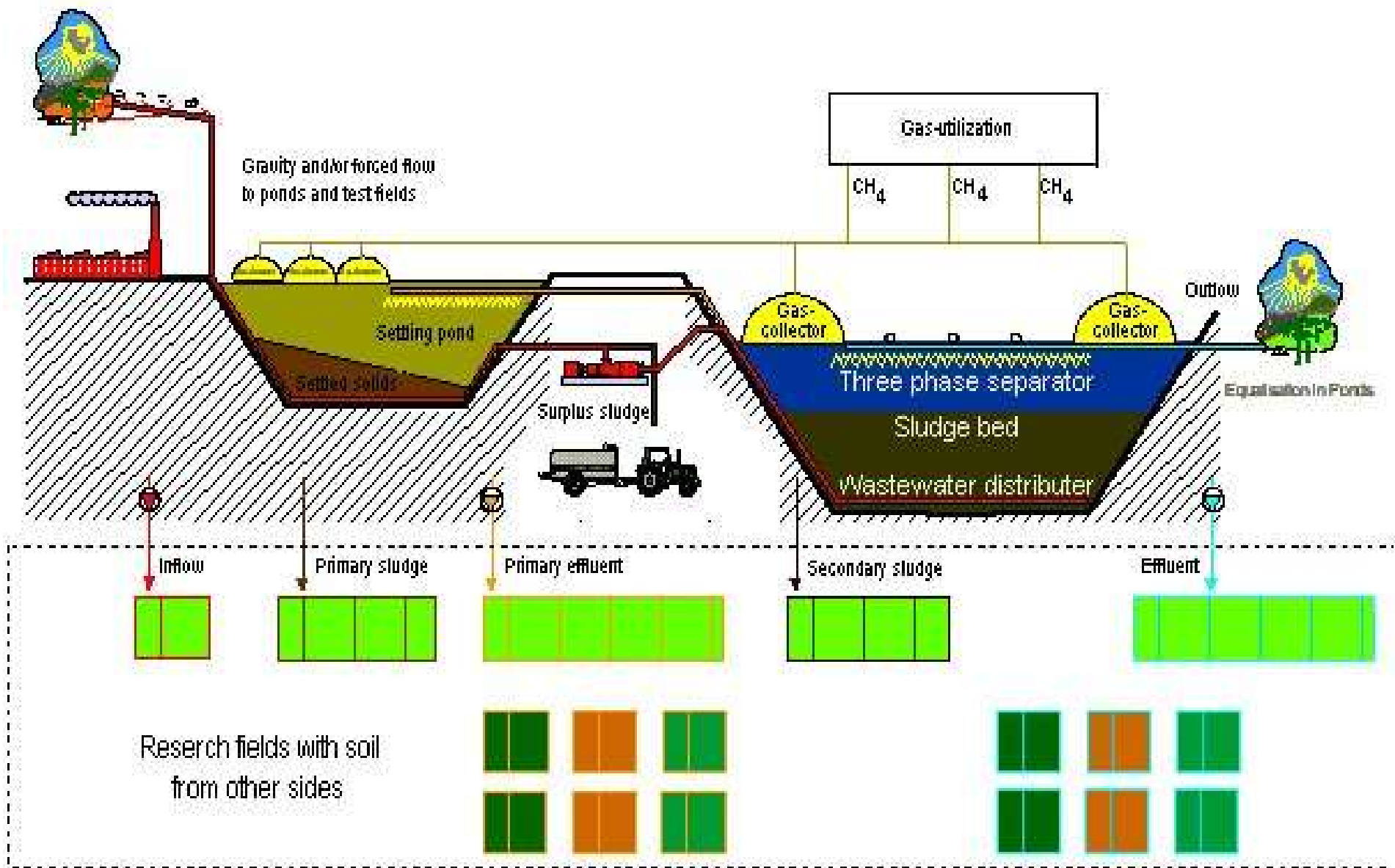
وطبقة الحمأة المعلقة هذه ستحافظ على نوعية مستقرة للتدفق الخارج من المفاعل و إن الغازات الناتجة عن العملية (والتي هي بشكل رئيس غاز الميثان وغاز ثاني أكسيد الكربون) تسبب حركة دوران داخلية تساعد في تشكيل الحبيبات البيولوجية والحفاظ عليها.

إن بعض فقاعات الغاز المتشكل ضمن طبقة الحمأة تبقى ملتصقة على الحبيبات البيولوجية. إن الغاز الحر والجزيئات التي التصقت بها فقاعات الغاز ترتفع إلى أعلى المفاعل ومن ثم فإن الجزيئات التي ارتفعت إلى السطح تصطدم بقاع الصفائح المخصصة لإزالة الغاز مما يسبب تحرر فقاعات الغاز، بعد ذلك تهبط الجزيئات التي تخلصت من فقاعات الغاز إلى سطح طبقة الحمأة أما الغاز والسائل فيغادران المفاعل.

إن الغاز الحر والغاز المتحرر من الجزيئات يحجز في قبة جمع الغاز الموجودة في أعلى المفاعل.



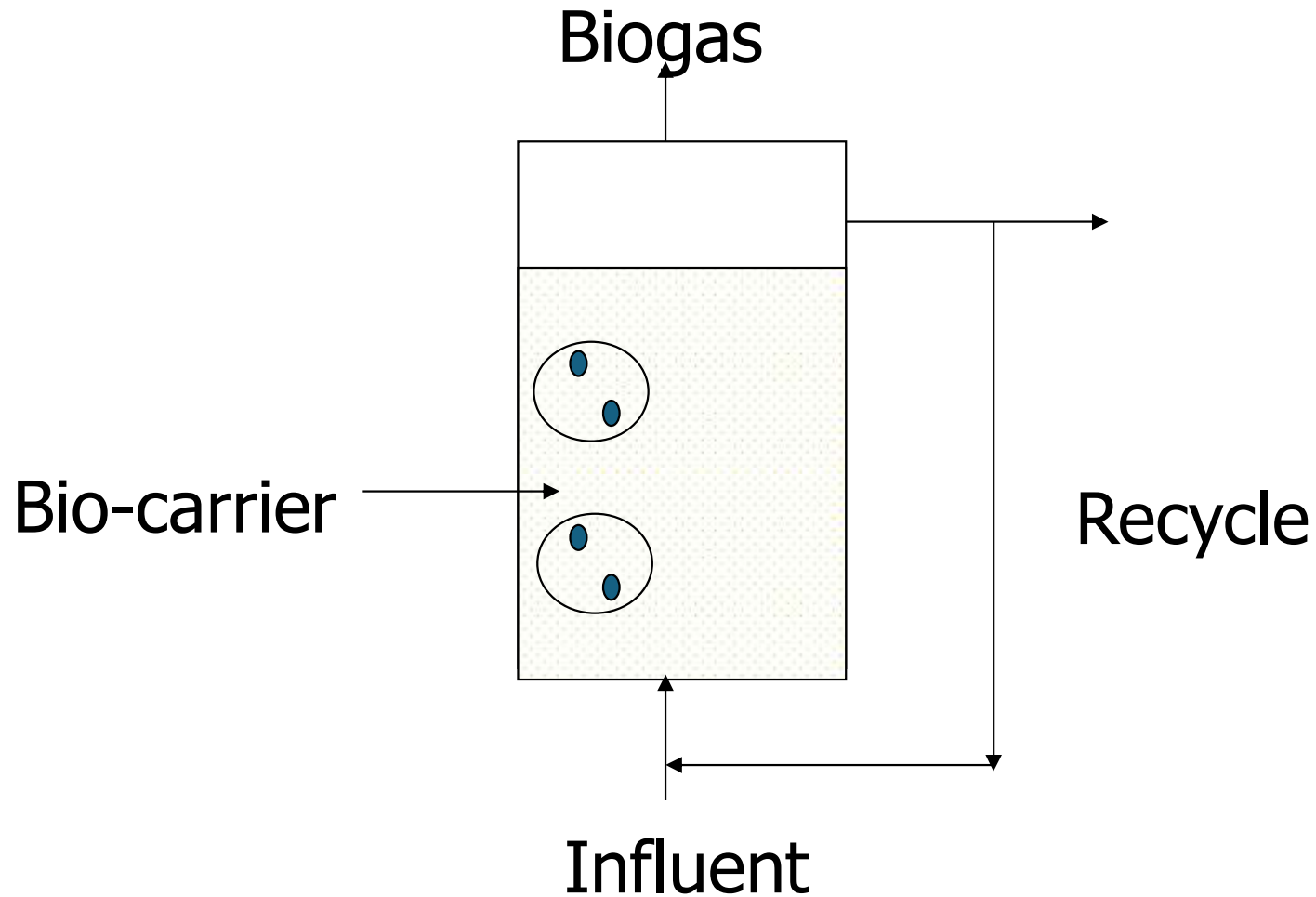




جدول هام جداً لتصميم المفاعل UASB

كفاءة الإزالة المتوقعة %	السرعة الشاقولية للسائل م / ساعة	زمن المكوث الهيدروليكي (ساعة)	الحمولة العضوية في واحدة الحجم Kg COD / m ³ .day	تركيز COD للمياه الخام ملغ /ل	تصنيف مياه الصرف
75-70	0.7-0.25	18-6	3-1	أقل أو يساوي 750	منخفضة التلوث
90-80	0.7-0.25	24-6	5-2	3000-750	متوسطة التلوث
85-75	0.7-0.15	24-6	10-5	10000-3000	شديدة التلوث
80-75	-----	أكبر من 24	15-5	أكبر من 10000	شديدة التلوث جداً

4- المفاعل ذو السرير المتمدد اللاهوائي : Expanded bed reactor (EBR)

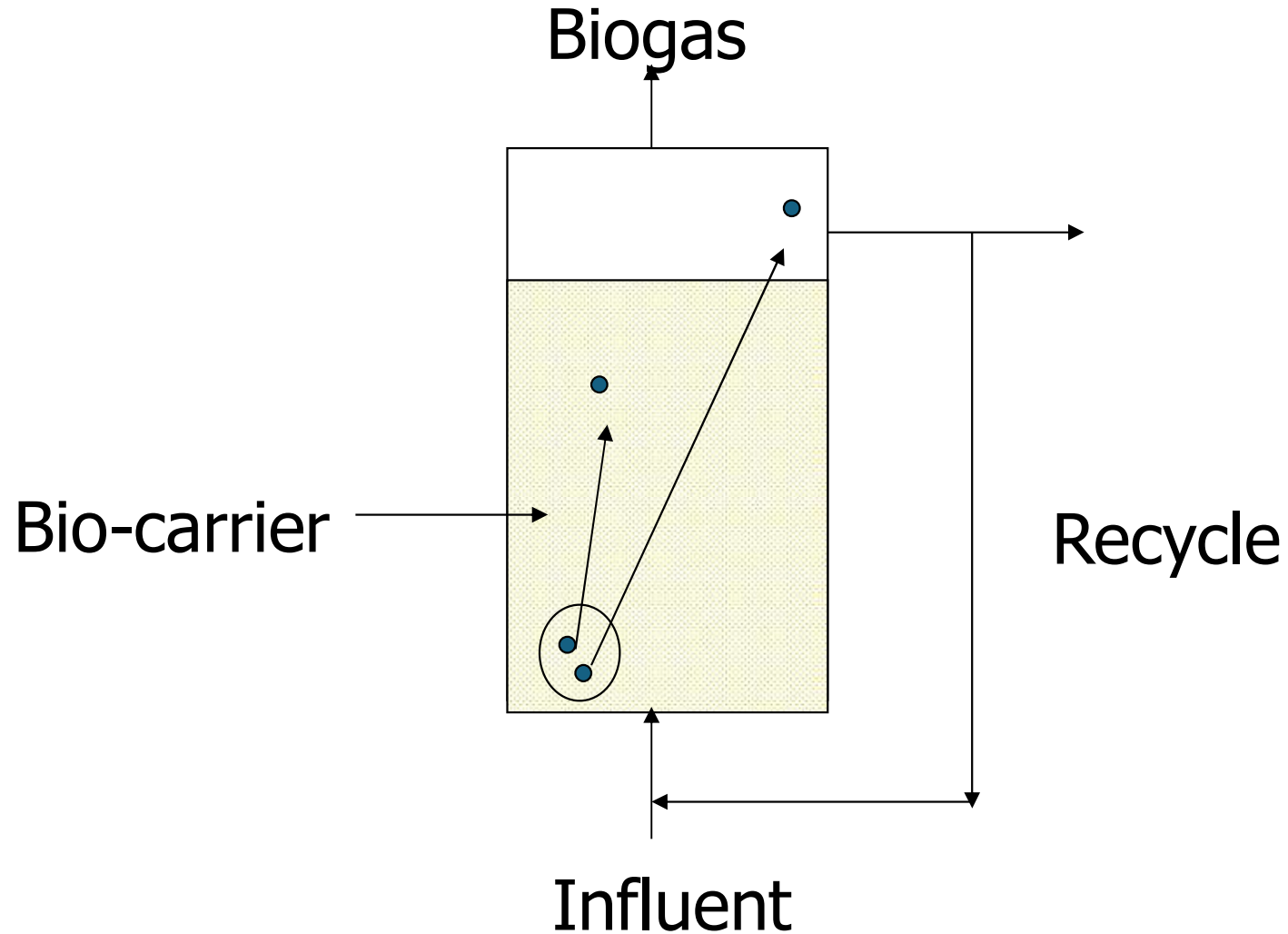


. المفاعل ذو السرير المتمدد اللاهوائي : هو إحدى طرق المعالجة البيولوجية اللاهوائية ذات النمو الملتصق إن دخول المياه يكون من أسفل المفاعل وتخرج المياه من أعلاه.

. يمكن استعمال وسط حامل من الكربون المنشط أو من الحبيبات البلاستيكية

. يجب أن تؤمن السرعة الشاقولية تمديداً للطبقة الحاملة للبكتريا بمقدار (15-30)% , وبسبب هذا التمدد فإن مشكلة انصطام تقل بشكل كبير وكذلك يستفاد من هذا التمدد في توزيع وتشتيت المواد المغذية والملوثات في المفاعل.

5- المفاعل اللاهوائي ذو السرير المميع :
Fluidized bed reactor (FBR)



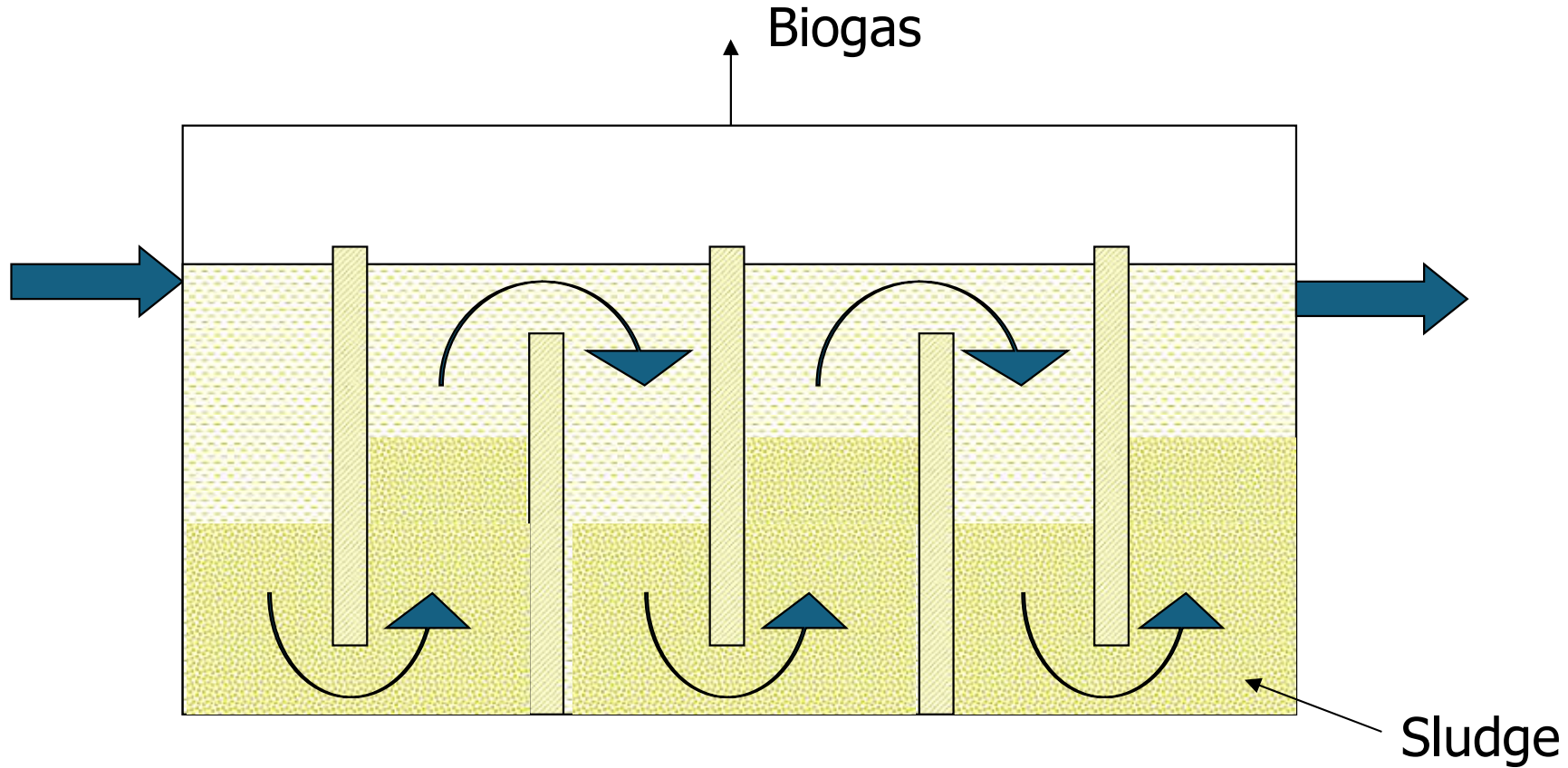
• إنّ المفاعل اللاهوائي ذو السرير المميع يشابه المفاعل اللاهوائي ذو السرير المتمدّد ولكن طبقة الفيلم البيولوجي في المفاعل اللاهوائي ذي السرير المميع تتجرف دوماً مع التدفق الخارج نتيجة السرعة العالية للجريان .

• إن السرير الحامل للبكتيريا في المفاعل ذي السرير المميع يمكن أن يتمدد حتى 300 % بينما في المفاعل ذي السرير المتمدّد لا يزيد التمدد في السرير عن 30% .

• سرعة الصعود الشاقولية تتراوح بين (25-100)م/ساعة

• إن المفاعل ذي المميع لا يتعرض لمشاكل الإنصطام ويتميز بزمن مكوث صغير

6- المفاعل اللاهوائي الموجه Anaerobic baffled reactor



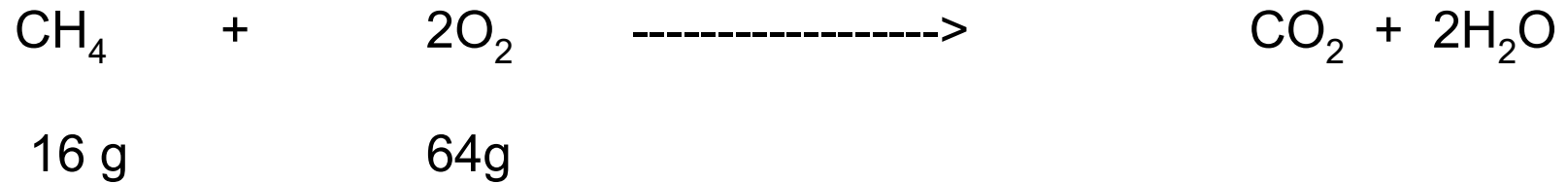
في المفاعل اللاهوائي الموجه تمر مياه الصرف من فوق ومن تحت موجّهات للتدفق (جدران مفتوحة من الأعلى أو الأسفل) وبين هذه الموجّهات تتجمع الكتلة الحيوية وتشكل حبيبات الحمأة

إنتاج الغاز الحيوي من عمليات معالجة مياه الصرف الصحي والصناعي

- ينتج عن عمليات المعالجة البيولوجية اللاهوائية لمياه الصرف الصحي والصناعي الغاز الحيوي الذي يحوي غاز المتان بنسبة وسطية بحدود 65% بالإضافة إلى غاز ثاني أكسيد الكربون وبعض الغازات الأخرى.

الحساب النظري لكمية غاز الميثان الناتجة عن إزالة 1 Kg COD في عمليات المعالجة البيولوجية اللاهوائية

Step 1: Calculation of COD equivalent of CH₄



$$\Rightarrow 16 \text{ g CH}_4 \sim 64 \text{ g O}_2 \text{ (COD)}$$

$$\Rightarrow 1 \text{ g CH}_4 \sim 64/16 = 4 \text{ g COD} \quad \text{-----} \quad (1)$$

وكما نعلم أنّ حجم المول الواحد من أي مركب غاز في الشرطين النظامين هو 22.4 لتر لذا يمكن كتابة

$$\Rightarrow 1 \text{ Mole CH}_4 \sim 22.4 \text{ L CH}_4$$

$$\Rightarrow 16 \text{ g CH}_4 \sim 22.4 \text{ L CH}_4$$

$$\Rightarrow 1 \text{ g CH}_4 \sim 22.4/16 = 1.4 \text{ L CH}_4 \quad \text{-----} \quad (2)$$

من المعادلتين رقم (1) ورقم (2) نجد

$$\Rightarrow 1 \text{ g CH}_4 \sim 4 \text{ g COD} \sim 1.4 \text{ L CH}_4$$

$$\Rightarrow 4 \text{ g COD} \sim 1.4 \text{ L CH}_4$$

$$\Rightarrow 1 \text{ g COD} \sim 1.4/4 = 0.35 \text{ LCH}_4$$

$$\text{or } 1 \text{ Kg COD} \sim 0.35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \text{ ----- (3)}$$

إذا كمية غاز المتان الناتجة عن إزالة 1 كغ COD هي 0.35م³ وذلك في الشرطين النظامين (درجة الحرارة 25 درجة مئوية والضغط 1 جو)

ملاحظة هامة جداً : هذه الأرقام صحيحة إن شاء الله في حال كان تركيز شاردة الكبريتات ضمن المياه الملوثة صغيراً, ولكن عندما يكون تركيز شاردة الكبريتات في مياه الصرف مرتفعاً عند نقل نسبة وجود غاز المتان في الغاز الحيوي وترتفع نسبة غاز H₂S وفق المعادلة الآتية:



الحساب العملي (الواقعي) لكمية غاز الميثان الناتجة عن 1 kg/COD إزالة

في عمليات المعالجة البيولوجية اللاهوائية

بحسب المراجع العلمية الصادرة عن الاتحاد الأوروبي عام 2003 تبين أنّ كل 1 كيلو غرام COD مزال يعطي 0.35م3 من الغاز الحيوي .

وعادة نسبة غاز الميثان في الغاز الحيوي بحدود 65% فتكون كمية غاز الميثان الناتجة عن إزالة 1 كغ COD هي :

$$0.35 \times 0.65 = 0.23 \text{m}^3 \text{CH}_4/\text{Kg CODr}$$

إنّ كل 1م3 من البيو غاز يعادل 8-10 كيلو واط ساعي تكون مقسومة بين (35% لتوليد الطاقة الكهربائية و 55% يمكن الاستفادة منها في التسخين) وفي ألمانيا يوجد مثل هذه الأنظمة مطبقة الاسترجاع الطاقة الناتجة من الغاز الحيوي.

ملاحظة : هذه الأرقام صحيحة إن شاء الله في حال كان تركيز شاردة الكبريتات ضمن المياه الملوثة صغيراً ,ولكن عندما يكون تركيز شاردة الكبريتات في مياه الصرف مرتفعاً عند تقل نسبة وجود غاز الميثان في الغاز الحيوي وترتفع نسبة غاز H2S

تنويه هام جداً

جميع طرق المعالجة البيولوجية اللاهوائية غالباً ما تنتج مياه صرف صحي **غير صالحة لري** المزروعات بسبب ارتفاع قيمة النتروجين المنحل في مياه الصرف , لذلك يجب اتباع الطرق اللاهوائية بطرق هوائية لتصبح مياه الصرف صالحة لري المزروعات.

أرحب بملاحظاتكم ومقترحاتكم واستفساراتكم على الإيميل

a.saghir@weecd.com

والحمد لله رب العالمين