

خطة تشغيل محطة معالجة مياه صرف صحي المدينة الخليل المرحلة الثانية

الجزء الأول



حسابات العمليات التصميمية والميدانية واستراتيجيات التحكم في العملية

البيولوجية

كيميائي / إبراهيم سعد الله الشامي

نبذة تاريخية عن نشأة المعالجة البيولوجية

الفصل الأول

1- القواعد والمعايير الألمانية لعملية المعالجة البيولوجية ذات المرحلة الواحدة
(standard ATV-DVWK-A 131E 2000)

1-1 وصف العملية

1-1-2 المفاعل الحيوي

1-1-3 حوض الترسيب الثانوي

1-1-4 إجراءات تصميم الأبعاد لمراحل المعالجة بالحماة النشطة

1-2 حسابات التدفق والأحمال

1-2-1 حمل المياه الخام

1-2-2 الأحمال الناتجة من مياه التصافي لأحواض تركيز الحماة أو الغسيل العكسي أو المياه المفصولة

بالطرد المركزي من الديكانتر

1-3 أبعاد حوض التهوية

1-3-1 الأبعاد طبقا للتجارب

1-3-2 المحطات بدون نترتة

1-3-3 المحطات بدون نترتة

1-3-4 المحطات مع نترتة ونترتة عكسية

1-3-5 المحطات مع التثبيت الهوائي للحماة

1-3-6 تقدير حجم منطقة النترتة العكسية بالنسبة لحجم حوض التهوية

1-3-7 إزالة الفوسفور

1-3-8 تقدير إنتاجية الحماة

1-3-9 افتراض مؤشر حجم الحماة وتركيز المواد الصلبة العالقة للخليط المتخمر

10-3-1 حجم المفاعل او حوض التهوية

11-3-1 إعادة التدوير وزمن الدورة

12-3-1 إنتقال الأكسجين

13-3-1 القلوية

4-1 أبعاد حوض الترسيب الثانوي

1-4-1 حدود التطبيق وخواص المنتج

2-4-1 مؤشر حجم الحمأة وزمن التركيز (التخليط) المسموح به

3-4-1 تركيز المواد الصلبة العالقة في الحمأة الراجعة

4-4-1 نسبة الحمأة الراجعة وتركيز المواد الصلبة العالقة الداخلة لحوض الترسيب النهائي

5-4-1 معدل التدفق السطحي ومعدل التحميل الحجمي السطحي للحمأة

6-4-1 مساحة سطح حوض الترسيب الثانوي

7-4-1 أعماق حوض الترسيب

8-4-1 إختبار وإعادة حسابات حوض الترسيب الثانوي الموجود

5-1 تصميم نظام إزالة الحمأة

1-5-1 تصميم الزحافات أو الكواشط

2-5-1 معدل تدفق الحمأة الناتجة من الدورة القصيرة وإتزان المواد الصلبة

3-5-1 إزالة الحمأة في الأحواض الدائرية أفقية التدفق

6-1 تحقيق إتزان المواد الصلبة

7-1 تقدير إنتاجية الحمأة والأكسجين المستهلك في عملية إزالة الكربون في ضوء الأكسجين الكيميائي

المستهلك COD

1-7-1 إتزان الأكسجين الكيميائي المستهلك

2-7-1 حساب إنتاجية الحمأة

1-7-3 حساب الأكسجين الممتص

الفصل الثاني

2- حسابات المعايير التصميمية للعملية البيولوجية

2-1 حسابات العمليات

2-1-1 المعايير التصميمية

2-1-2 تصميم مواصفات المياه الداخلة

2-1-3 تصميم مواصفات المياه المعالجة

2-2 المدخل والمصافي الميكانيكية الأوتوماتيكية (المعالجة الأولية)

2-2-1 مدخل المحطة

2-2-2-1 (أ) المصافي الميكانيكية الضيقة

2-2-2-2 (ب) أحواض إزالة الحصى والرمال والزيوت والشحوم

2-2-2-2 (ج) نظام تجميع الرمال والحصى وعازل الرمال

2-3 الأحواض اللاهوائية

2-3-1 حوض الانتقاء

2-4 أحواض التهوية

2-4-1 تحديد عمر الحمأة

2-4-2 إيزان النيتروجين

2-4-3 النسبة الحجمية لنزع النترية

2-4-4 الأكسجين الحيوي الممتص أثناء عملية التنفس لأكسدة المواد العضوية

2-4-5 سعة النترية العكسية

2-4-6 نسبة (V_D/V_{AT}) للنترية العكسية المتزامنة (الموازية)

2-4-7 نسبة (V_D/V_{AT}) للنترية العكسية السابقة

2-4-8 إختيار مؤشر حجم الحمأة

2-5 تقدير إنتاجية الحمأة والأكسجين المستهلك في عملية إزالة الكربون في ضوء الأكسجين الكيميائي

المستهلك COD

2-5-1 أولا الحسابات طبقا للأكسيجين الكيميائي المستهلك COD

2-5-1 (أ) إيزان الأكسيجين الكيميائي المستهلك COD balance

2-5-1 (ب) حساب إنتاجية الحمأة

2-5-3 ثانيا إنتاجية الحمأة طبقا للأكسيجين الحيوي الممتص

2-5-4 الكتلة الحيوية المطلوبة في حوض التهوية

2-5-5 حجم أحواض التهوية المطلوب

2-5-6 تصرف مضخات إعادة التدوير للنترة القبلية

2-5-7 تصميم نظام التهوية

2-5-8 أعلى معدل إحتياج للأكسيجين

2-5-9 مصدر الأكسيجين اللازم

2-5-10 حسابات معدات التهوية

2-5-11 حساب كمية ناشرات الهواء اللازمة

2-5-12 توزيع الناشرات على الأحواض

2-5-13 خط المزيج المتخمر بأحواض التهوية

2-5-14 إزالة الكربون الكيموحيوي المطلوب

2-6 إزالة البيولوجية للنيتروجين (عملية النترة العكسية)

2-6-1 عملية النترة

2-6-2 النترة العكسية

2-7 استخدامات جهد الأوكسدة والإختزال للتحكم في عمليات المعالجة لمياه الصرف

2-8 عمر الحمأة (زمن مكث المواد الصلبة)

2-9 تصرف مضخات إعادة التدوير للنترة القبلية

2-10 خط المزيج المتخمر بأحواض التهوية

2-10-1 إيزان النيتروجين

2-11 النسبة الحجمية لنزع النترة

2-11-1 الأكسجين الحيوي الممتص أثناء عملية التنفس لأكسدة المواد العضوية

2-11-2 سعة النترية العكسية

2-11-3 نسبة (VD/VBB) النترية العكسية المتزامنة (الموازية)

2-11-4 نسبة (VD/VBB) للنترية العكسية السابقة

2-12 أحواض الترسيب النهائي

2-12-2 إرتفاع طبقات الحمأة المختلفة

2-12-3 برهنة إتران الكتلة طبق للتصميم

2-12-4 إختيار مؤشر حجم الحمأة

2-12-5 حسابات أحواض الترسيب النهائي

2-12-6 إرتفاع طبقات الحمأة المختلفة

2-12-7 تركيز الخليط المتخمر للمواد الصلبة المعلقة بأحواض التهوية وبالحمأة الراجعة

2-13 تقدير معايير التحكم في العملية البيولوجية

2-13-1 حساب معدل تدفق الحمأة الزائدة

2-13-2 حساب نسبة الغذاء الى الكائنات الحية F/M

2-13-3 حساب متوسط زمن بقاء الخلية

2-14 جودة وآلية ترسيب الحمأة

2-14-1 آلية الترسيب ودور الكائنات الحية في ترويق المياه

2-14-2 حمل الحمأة وعمر الحمأة

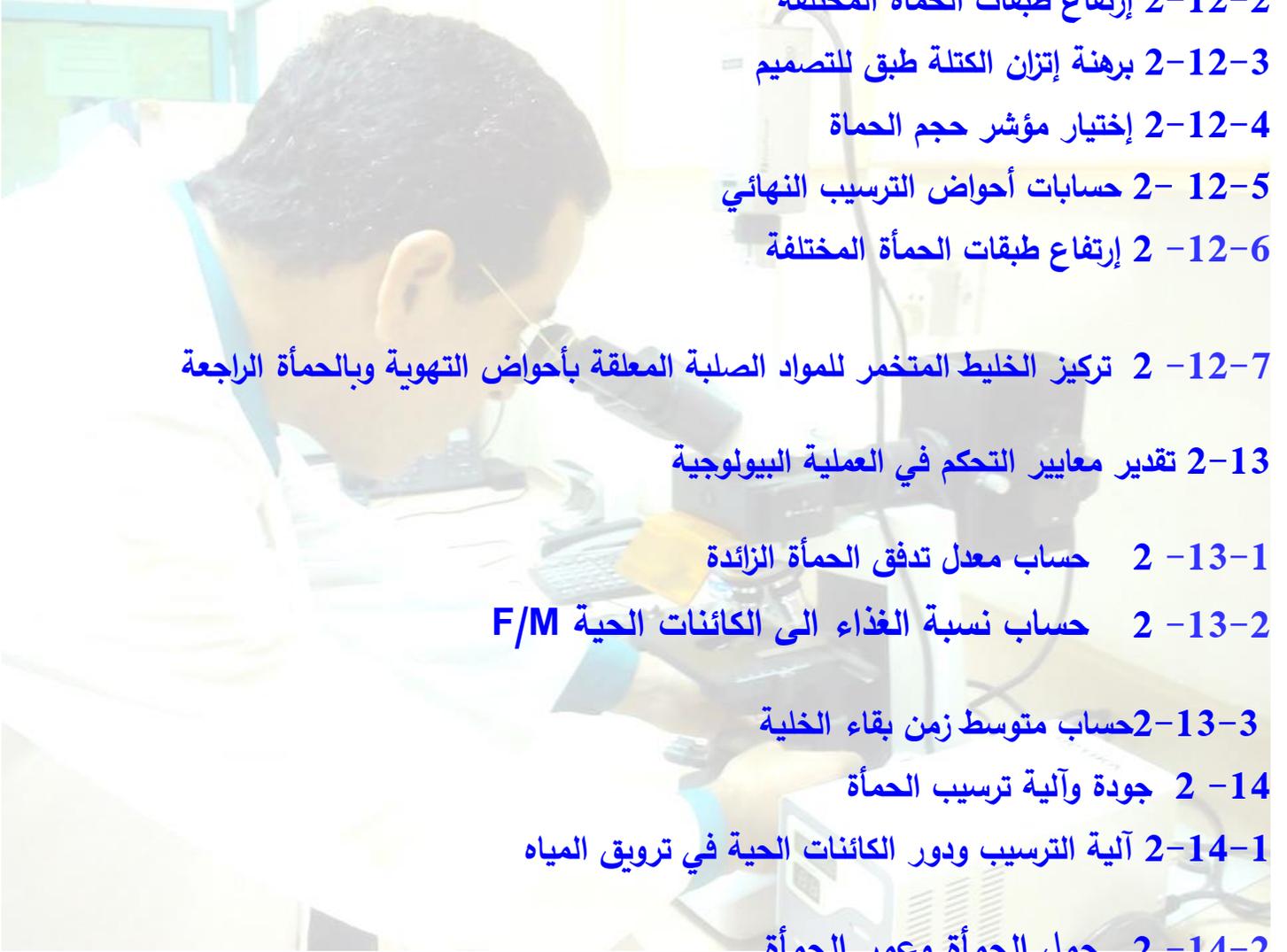
2-14-3 استهلاك المغذيات بواسطة ندف الحمأة

2-14-4 مفهوم عامل التحميل

2-15 الترشيح الثلاثي

2-15-1 إختيار نظام الترشيح

2-2-15 الترشيح الثلاثي والتطهير بالكلور



2-15-3 دورة الغسيل العكسي

2-15-4 نوافخ الهواء

2-15-5 مضخات الغسيل العكسي

2-15-6 إجراءات تشغيل المرشحات

2-16 وحدة الأشعة فوق البنفسجية لتطهير المياه المعالجة UV

2-16-1 مفهوم التطهير

2-16-2 مكونات نظام التطهير بالأشعة فوق البنفسجية تروجان

2-16-3 قناة الإدخال أو التفاعل

2-16-4 سرعة الجرعة

2-16-5 نمذجة عمليات التطهير بالأشعة فوق البنفسجية

2-16-6 التحقق من أداء نظام الأشعة UV

2-16-7 حسابات الفقد عبر اللمبات

2-16-8 مشاكل نظام التطهير بالأشعة فوق البنفسجية

2-16-9 آليات التطهير

2-16-10 حساسية اللمبات لجودة الطاقة

2-16-11 غطاء حماية اللمبات

2-16-12 جرعة الأشعة فوق البنفسجية وشدتها وتوزيعها

2-17 آليات تثبيط نشاط الكائنات الحية بالأشعة فوق البنفسجية

2-17-1 تركيب الأحماض النووية

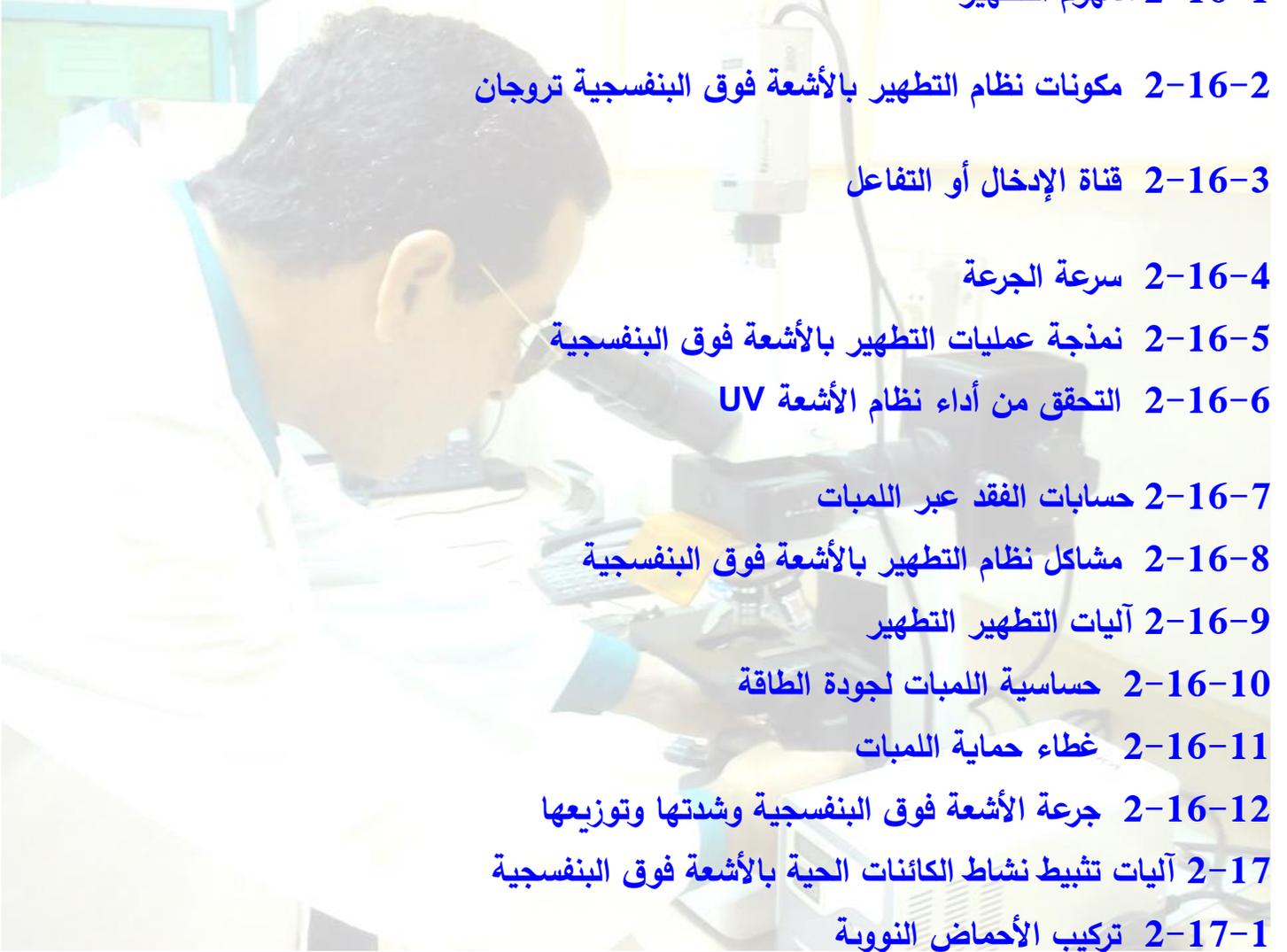
2-17-2 تأثير الأشعة فوق البنفسجية على الخلايا الحية

2-17-3 إعادة تنشيط الخلايا

2-17-4 إعادة التنشيط الضوئي

2-17-5 إعادة التنشيط في الظلام

2-17-6 العوامل التي تؤثر على فاعلية التطهير بالأشعة فوق البنفسجية



2-17-7 تأثير الأشعة فوق البنفسجية على تركيز الكلور الحر

2-17-8 المنتجات الثانوية للتطهير بالأشعة فوق البنفسجية

2-17-9 التطهير بالأشعة مقابل وسائل التطهير التقليدية

2-17-10 تقادم لمبات الأشعة فوق البنفسجية UV lamp aging

2-18 التطهير بالكلور

2-18-1 حساب الجرعات

2-18-2 نقطة إنكسار الكلور

2-18-3 نمذجة عملية التطهير بالكلور

2-18-4 - (ب) جرعة الكلور المطلوبة للتطهير

2-18-5 نظام التحكم في الكلورة باستخدام جهد الأكسدة و الإختزال

2-19 لوغاريتم تثبيط نشاط الكائنات الحية أو إزالتها

2-20 شرائح التطهير

2-21 تعيين زمن التلامس لوغاريتم التثبيط 4 للفيروسات و لوغاريتم 3 للجارديا

2-21-1 إجراءات حساب CT_{3-log} , Giardia

2-21-2 محطة مضخات المياه المعالجة

2-22 مراحل معالجة الحمأة

2-22-1 محطة ضخ الحمأة الزائدة /الراجعة

2-23 خزان تجميع وتركيز الحمأة بالجابية

2-24 وحدة نزح المياه من الحمأة بالطرد المركزي (الديكانتر)

2-24-1 نزح المياه من الحمأة (الديكانتر)

2-24-2 وحدات تجهيز وتجريع البوليمر

2-24-3 نسبة المواد الصلبة في مياه التصافي والمنزوحة بالطرد المركزي

الفصل الثالث

- 3- إجراءات بدء التشغيل وفق المعايير الواقعية و التصميمية
3-1 تشغيل المحطة وفق المعايير الواقعية للمياه الخام والتدفق

3-1-1 التجهيز لبدء التشغيل Preparation for Start-Up

3-1-1 (أ) مراجعة المنشورات والكتيبات

3-1-1 (ب) مقابلة كل من فريق المهندسين الإستشاريين وخبراء التشغيل

3-1-1 (ج) تقدير الظروف الواقعية أثناء بدء التشغيل

3-1-1 (د) تقدير تركيز المواد الصلبة بحوض التهوية

3-1-2 خطوات بدء التشغيل Start-Up Procedure

3-1-2 (أ) باستخدام طريقة حمأة التلقيح seed sludge

3-1-1 (ب) تكوين الحمأة النشطة

3-2 متابعة العملية أثناء بدء التشغيل

3-3 التشغيل الطبيعي

3-4 إجراءات التشغيل وحسابات العمليات البيولوجية والكيميائية وفقا لمعايير المياه الخام الواقعية

3-4-1 أولا متوسط المعايير الواقعية للمحطة

3-4-2 معدل تدفق الحمأة الزائدة

3-4-3 حساب نسبة الغذاء الى الكائنات الحية F/M

3-4-4 متوسط زمن بقاء الخلية MCRT

3-5 إستراتيجيات التحكم في العملية البيولوجية

3-5-1 إختيار استراتيجية التحكم

3-5-2 التحكم في معدل تدفق الحمأة الراجعة

3-5-2 (أ) قياس غطاء الحمأة

3-5-2 (ب) إتران الكتلة

3-5-2 (ج) يتم تقدير معدل تدفق الحمأة الراجعة QRAS

3-5-2 (د) التحكم في بطانية (غطاء) الحمأة الراجعة عن طريق بيانات إختبار الترسيب خلال 30

دقيقة

3-5-2 (هـ) تقدير معدل رجوع الحمأة عن طريق معرفة تركيز الخليط المتخمر

3-5-2 (و) تقدير معدل تدفق رجوع الحمأة بأسلوب جودة الحمأة

3-5-3 التحكم في تخريج الحمأة الزائدة

3-5-3 (أ) طرق تخريج الحمأة الزائدة

3-5-3 (ب) التحكم في ثبات تركيز المواد الصلبة العاقة الطيارة MLVSS

3-5-4 التحكم في نسبة الغذاء الى الكائنات الحية

3-5-5 التحكم في ثبات متوسط زمن مكث الخلية

3-5-6 التحكم في جودة الحمأة

3-5-6 (أ) حجم الحمأة المترسب

3-5-6 2 (ب) مؤشر حجم الحمأة

3-6 إنتاج المواد الصلبة العضوية وحسابات الضخ

3-6-2 زمن تشغيل المضخة

3-6-3 إنتاج الحمأة بالطن المتري في السنة

3-7 دفن وإستخدام الحمأة في الزراعة

3-7-1 النيتروجين المتاح

3-7-2 النيتروجين طبقا لإحتياج المحاصيل له

3-7-3 حمل المعادن

الفصل الرابع

4- نظام التحكم بالروائح بالأبراج الكيميائية الرطبة

4-1 المركبات التي تسبب الروائح في محطات معالجة مياه الصرف الصحي

4-2 حسابات استهلاك المواد الكيميائية

4-2-1 حجم هيدروكسيد الصوديوم المستهلك بالتر

4-2-2 حجم هيدروكسيد الصوديوم + حجم هيبوكلوريت الصوديوم المستهلك بالتر

4-2-3 حجم الكيماويات المستهلكة في مباني معالجة الحمأة الديكانتر والمجفف المحطة بالتر

4-3 إجراءات تشغيل مراحل أبراج التحكم في الرائحة

4-4 التحكم بإستخدام نظام جهد الأكسدة و الإختزال

4-5 تعظيم الإستفادة من تجريع الكلور في عملية التحكم في الروائح وأيضا في عملية تطهير

المياه المعالجة وأهمية قراءة ORP بدلا من pH

4-6 إجراءات معايرة الكترود جهد الأكسدة والإختزال

4-7 المرحلة الثانية نظام الكربون المنشط

4-8 إنبعاثات غازات الإحتباس الحراري

4-8-1 العوامل التي تؤدي لتراكم N_2O أثناء عملية النترية العكسية

4-8-2 المسارات الحيوية لبكتيريا أكسدة الأمونيا وإنتاج NO_2^- و NO_3^-

4-8-3 العوامل التي تؤثر على إنتاج N_2O أثناء أكسدة الأمونيا عن طريق AOB

4-8-4 إنتاجية الميثان

4-8-5 الانبعاثات المباشرة من غازات الإحتباس الحراري من محطات معالجة مياه الصرف

الفصل الخامس

5- المعدات الميكانيكية

5-1 تصنيف المضخات بالمحطة واستخداماتها في أنظمة معالجة مياه الصرف الصحي

5-2 أنواع المضخات الطاردة المركزية Centrifugal pumps types

5-2-1 تصنيف المضخات الطاردة المركزية طبقا للمروحة

5-2-2 أداء المضخة pump performance

5-2-3 المصطلحات الهيدروليكية hydraulic terms

5-2-4 رفع المضخة the pump head H

5-2-5 تحديد رفع المضخة determination of pump head

5-2-6 ضغط النظام system pressure

3-6 التكهف وضغط السحب (الشفط) الموجب الصافي

5-3-1 الضغط عند مدخل المضخة

5-3-2 حسابات خطر التكيف calculation of the risk of cavitation

5-4-1 الأنظمة المفتوحة ذات الرفع الجيوديني الكلي المطلوب الموجب

5-4-1 الأنظمة المفتوحة ذات الرفع الجيوديني الكلي المطلوب السالب

5-4-2 السرعة النوعية للسحب

6-4-2 السرعة النوعية للسحب

5-5 منحنيات المضخة الطاردة المركزية

5-5-1 التكيف والتنفير cavitation and pitting

5-5-2 خواص منظومة المواسير

5-6 التصميم الهيدروليكي والميكانيكي لمحطات الرفع

5-6-1 تحديد حجم بيازة التخزين

5-6-2 حساب التخزين الفعال

5-7 أنواع محطات الرفع

5-7-1 تشغيل مضخة واحدة

5-7-2 تشغيل مضختان متماثلتان بالتبادل

5-7-3 تشغيل أكثر من مضختان

5-7-4 التشغيل مع منسوب مشترك للإيقاف common stop levels

5-7-5 التشغيل مع مناسيب متدرجة للإيقاف stepped stop levels

5-8 حسابات حجم بيارات التخزين



5-8-1 حساب حجم بيارة التخزين التشغيل مع منسوب مشترك للإيقاف

5-8-2 الحالة الأولى : المضخات العاملة متماثلة وترفع التصريفات في خطوط طرد منفصلة

5-8-3 الحالة الثانية : المضخات العاملة متماثلة وترفع التصريفات في خطوط طرد مشتركة

5-8-4 الحالة الثالثة : المضخات العاملة غير متماثلة وترفع التصريفات في خطوط طرد منفصلة

5-9 حساب حجم بيارة التخزين للتشغيل مع منسوب متدرج للإيقاف

5-9-1 الحالة الأولى : إذا كانت تصريفات المضخات العاملة متساوية وترفع تصريفاتها لخطوط طرد

منفصلة ومتساوية الطول

5-9-2 الحالة الثانية : إذا كانت المضخات العاملة في المحطة ترفع تصريفاتها في خط طرد مشترك

5-10 المسافات البينية لمناسيب التشغيل والإيقاف

5-10-1 أقل منسوب للمياه بالبيارة (منسوب الإيقاف)

5-10-2 أعلى منسوب للمياه بالبيارة (منسوب التشغيل)

5-10-3 تحديد عمق التخزين

5-10-4 تحديد مسطح البيارة المغمورة في حالة البيارات المستديرة

5-10-5 حساب قطر البيارة المستديرة

5-11 محددات المضخات pump percipients

5-11-1 تصرف المضخة pump capacity

5-11-2 رفع المضخة pump head

5-11-3 رفع المنظومة system head

5-11-4 سرعة الدوران

5-11-5 حساب القدرة المستهلكة للمضخة pump absorbed power calculations

5-12 التشغيل على التوازي operation in parallel

5-13 التشغيل على التوالي operation in series

5-14 تغيير أداء المضخة pump performance changing

5-14-1 ضبط أداء المضخة adjusting pump performance

5-14-2 التحكم بالخنق Throttle control

5-14-3 تغيير السرعة changing the speed

5-14-4 تشذيب أو خراط مروحة المضخة trimming the impeller

5-14-5 توصيف المضخات بمحطة الرفع

5-14-6 عدد المضخات المركبة بالمحطة

5-14-7 حساب تصرف المضخة

5-15 محددات الأداء

5-15-1 محددات الأداء الكمية في المضخات

5-15-2 تقسيم الطلبات طبقاً لمحددات الأداء

5-15-3 الخطوات الضرورية عند بداية تشغيل الطلمبة لأول مرة:

5-15-4 الخطوات الضرورية بعد تشغيل الطلمبة

5-15-5 الأسباب التي تؤدي إلى خفض تصرف المضخة :



5-15-6 قياس كفاءة المضخات

5-15-7 تحديد الكفاءة الكلية للمضخة عمليا

5-15-8 اختبار وتقييم أداء الطلمبات

5-16 المحركات الكهربائية

5-16-1 أساسيات التشغيل

5-16-2 إختبارات ما قبل بدء التشغيل الأولى

5-16-3 بدء التشغيل الأولى

5-16-4 التشغيل المعتاد للمحرك

5-16-5 أهم المشاكل التي تتعرض لها المحركات أثناء التشغيل

5-17 مسؤوليات وواجبات القائمين على تشغيل معدات محطات المعالجة

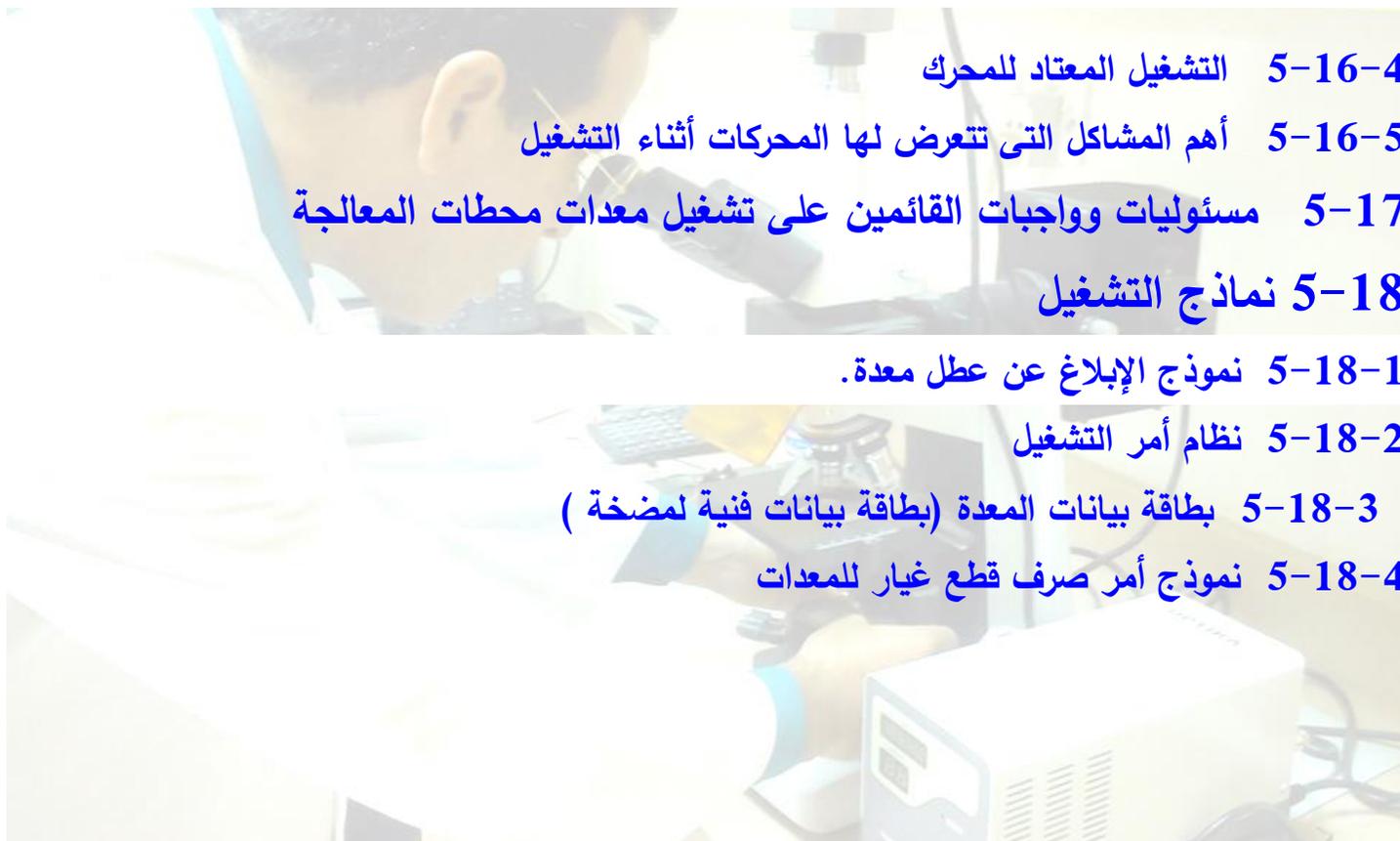
5-18 نماذج التشغيل

5-18-1 نموذج الإبلاغ عن عطل المعدة.

5-18-2 نظام أمر التشغيل

5-18-3 بطاقة بيانات المعدة (بطاقة بيانات فنية لمضخة)

5-18-4 نموذج أمر صرف قطع غيار للمعدات



مقدمة

يبنى تصميم محطات معالجة مياه الصرف الصحي طبقاً لقاعدة بيانات أساسية تشمل التعداد السكاني الذي سوف تخدمه محطة المعالجة والذي من خلاله سوف يتم تقدير متوسط معدل التدفق للمياه الخام الذي سوف تقوم المحطة بمعالجته وأيضاً أقصى معدل تدفق متوقع وطبيعة وخصائص المياه الخام التي سوف يتم معالجتها من خلال التحاليل التي تحدد هذه الخصائص وحركية الكائنات الحية المستخدمة في المعالجة ؛ ومن هنا وحيث أن تصميم المحطة يتم وفق متوسط معدل تدفق وأعلى معدل تدفق متوقع وطبقاً لنتائج تحاليل لعينات من المياه الخام للجمع السكاني المستهدف وتشمل تركيز المواد العضوية الذائبة والتي يتم تقديرها بقياس تركيز الاكسجين الحيوي الممتص BOD وأيضاً بتركيز الاكسجين الكيميائي المستهلك COD وتركيز النيتروجين بقياس تركيزات الامونيا والنيتروجين العضوي (نيتروجين كلداهل الكلي الذي يتم قياسه أيضاً) والنترات والنيتريت والنيتروجين الكلي (ويشمل صور النيتروجين السابقة كلها) وتركيز الفوسفور الكلي والخصائص الفيزيائية مثل الرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة والعمارة وتركيز المواد الصلبة العالقة الكلية والزيوت والشحوم ... الخ فإن سعة أحواض المعالجة وزمن مكث المواد الصلبة SRT أو عمر الحمأة المثالي وتركيز المزيج المتخمر للمواد الصلبة العالقة MLSS والمتطايرة MLVSS بها والتي تعبر عن محتوى الحمأة من الكائنات الحية التي سوف تقوم بعملية المعالجة وتركيز الحمأة النشطة الراجعة QRAS,MLSS ومعدل تدفقها QRAS ومعدل تدفق الحمأة الزائدة QWAS .. الخ سوف يبنى على هذه القاعدة من البيانات وسوف يكون بالتالي للمحطة مواصفات تصميمية طبقاً لذلك تحدد وتركيز المزيج المتخمر للمواد الصلبة العالقة MLSS وعمر الحمأة وتركيز الحمأة النشطة الراجعة ومعدل تدفقها ومعدل تدفق الحمأة الزائدة في الحدود الذي تجعل العملية البيولوجية تتم بأعلى كفاءة .

لكن في نفس الوقت يجب الأخذ بالاعتبار أنه سوف توجد ظروف لا تتوافق مع المعايير التصميمية للمحطة مثل إختلاف معدل التدفق وإختلاف الحمل العضوي عن التصميمي ومن ثم يجب وضع خطة وإجراء الحسابات اللازمة لتعديل أسلوب التشغيل بما يتوافق وهذه المعطيات ويحقق إتمام عملية المعالجة بكفاءة ؛ ولتوضيح هذه النقطة نقول : في بداية تشغيل المحطة قد لا تستقبل كمية المياه التي تم تصميم المحطة

لمعالجتها فقد تكون كمية المياه صغيرة كما قد تكون معايير وخصائص المياه الواردة اليها مختلفة قليلا أو كثيرا عن المعايير التي تم التصميم وفقا لها وبالتالي لابد من تغيير معايير التشغيل وفقا لذلك ؛ حتى وان كان معدل التدفق للمحطة سيكون هو نفس المعدل التصميمي قد تكون خصائص المياه مختلفة قليلا أو كثير عن المعايير التي تم تصميم الأحواض عليها وهذا أيضا يستوجب بالتالي تغيير المعايير التشغيلية بما يتناسب مع معايير المياه الخام الواردة للمحطة .

والحقيقة الثابتة أن معايير وتدفق المياه الخام يكون كل يوم مختلف عن الآخر؛ كما يكون مختلف أيضا عن المعايير التصميمية التي تم تصميم مراحل المعالجة عليها ومن ثم سيكون هناك مدى لكل معيار يتم التشغيل وفقا له فمثلا لو أن التركيز التصميمي للمزيج المتخمر للمواد الصلبة العالقة MLSS هو 3600 ملجم/ل فإنه بسبب تغير خصائص المياه ومعدل التدفق سيكون مدى التركيز هو المدى التي تعمل عنده المحطة وفقا لنظام المعالجة المتبع وهو هنا في محطة معالجة المدينة الخليل- المرحلة الثانية طريقة التهوية المطولة وتحديدًا نظام الكاروسيل الذي يعمل في مدى تركيز 3000 ملجم/ل - 6000 ملجم/ل وهذا يستلزم ضبط باقي المعايير التشغيلية في المحطة مثل تركيز الحمأة الراجعة ومعدل تدفقها ومعدل تدفق الحمأة الزائدة وعمر الحمأة ونسبة الغذاء إلى الكائنات الحية F/M وغيرها من معايير التشغيل وسيتم شرح ذلك كله بالتفصيل لاحقًا .

إذا لابد من وجود خطة تشغيل تشرح كيف يتم التعامل مع هذه المتغيرات التي سوف تكون موجودة لا محالة ونحن في هذا الكتاب سوف نشرح خطة تشغيل كاملة توضح كل مراحل تشغيل محطة مدعومة بالشرح والتفسير العلمي للعملية البيولوجية والمعادلات الحسابية التي توضح كيفية التعامل مع هذه المتغيرات بشكل عملي وعلمي دقيق في كل مراحل المعالجة لمياه الصرف الصحي وعمليات معالجة الحمأة التي تنتج منها ونظام التحكم بالروائح المنبعثة منها أيضا تتضمن خطة التشغيل مشاكل التشغيل المختلفة سواء مشاكل تتعلق بالعملية البيولوجية وكفاءتها مثل نمو وتزايد البكتيريا الخيطية والاسباب التي أدت الى وجودها (وهذه سوف يتم تناولها في الجزء الثاني الخاص بخطة المختبر في متابعة العمليات والجودة) أو مشاكل فيزيائية ناتجة من

التقصير في أعمال الصيانة أو مشاكل بسبب الأعطال الطارئة وكيفية حل هذه المشاكل وكيفية تجنبها وحل المشكلة إن حدثت .

محطة معالجة مياه الصرف بالمدينة المنورة المرحلة الثانية تعمل بطريقة التهوية المطولة للحمأة النشطة وهي مصصمة بنظام الكاروسيل طبقا للكود المواصفات الألمانية لمحطات معالجة مياه الصرف -ATV-DVWK- A 131E 2000 لتصميم الأحواض لعملية المعالجة بالحمأة النشطة ذات المرحلة الواحدة .

تم تصميم المحطة بنظام الكاروسيل بحيث يتم معالجة الكربون العضوي BOD5 وكذلك أكسدة الامونيا NH3 والنترتة العكسية لإزالة النيتروجين.

نبذة تاريخية عن نشأة عملية المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي

نشأت عملية المعالجة لمياه الصرف الصحي مع نهاية عام 1800 من الميلاد حيث كانت محطات معالجة مياه الصرف الصحي البلدية قد عمت معظم المدن الكبيرة في العالم وكان الهدف الإهتمام الأكبر من عمل هذه المحطات هو إزالة المواد الصلبة العالقة وغيرها من المواد الصلبة الغير ذائبة من مياه الصرف بمعنى آخر كان مفهوم المعالجة يقتصر فقط على إزالة المواد الصلبة بالترسيب بالجاذبية لا اكثر ولا أقل ؛ ثم بحلول العام 1870 تم إستخدام أحواض التعفن او التخمر للمعالجة اللاهوائية لمياه الصرف ؛ ثم بدأ الإهتمام بإزالة الروائح المزعجة من المياه وهذا الإهتمام قاد العلماء وقتها بضخ الهواء في مياه الصرف للتخفيف من الروائح المنبعثة ولم يكن أحد يتوقع في ذلك الوقت أن ضخ الهواء سوف يؤدي لمزيد من العمليات الحيوية التي تحسن من جودة المياه المعالجة ؛ وقد لاحظ العلماء والمختصين في ذلك الوقت زيادة المواد الصلبة بسبب ضخ الهواء ومع ذلك تحسنت مواصفات المياه الناتجة من المعالجة وقد لفت ذلك إنتباه الكيميائيان البريطانيين Edward Arden و William T. Lockett (إدوارد إرديرن الصف الخلفي الأول من اليسار) فقد قاما بعمل أول تجربة لزيادة المواد



الصلبة الحيوية الناتجة من ضخ الهواء بإعادة جزء منها من حوض الترسيب إلى حوض التهوية ومتابعة النتائج المترتبة على ذلك حيث أدركا أن زيادة هذه المواد الصلبة البيولوجية التي تكونت في شكل ندف تحسن عملية المعالجة وجودة المياه المعالجة بشكل كبير وكانا أول من أطلق أسم الحمأة النشطة أو المنشطة على هذه المواد الصلبة ؛ وفي لقاء بجمعية الكيمياء الصناعية قدما الكمائيات أول ورقة بحث علمي حول المعالجة بالحمأة النشطة ؛ إلا ان تفاصيل المعالجة وكيف تعمل الميكروبات لمعالجة مياه الصرف لم يكن قد اتضح بعد لهما بشكل كامل وواضح ؛ ومنذ ذلك الوقت زاد إهتمام العلماء والمهندسين بعملية الحمأة النشطة وبدأت الأبحاث لمعرفة تركيب هذه الندف ودور الميكروبات في المعالجة والعوامل التي تؤثر على نشاطها .

وبعدها بثلاث أعوام وفي عام 1917 بدأ تشغيل أكبر محطتين تعملان بالحمأة النشطة الأولى في مدينة مانشستر والتي كان يعمل بها الكيمائيان البريطانيان والثانية في كاليفورنيا بالولايات المتحدة ؛ وبحلول الثلاثينات 1930 كان هناك إجماع على أن هذ الندف التي تكونت ناتجة من النشاط الحيوي وتستخدم الأوكسيجين لتخليق المزيد منها وهذا الفهم ساق العلماء لدراسة النمو الميكروبي والذي ينتج عنه تراكم الكتلة الحيوية والبحث عن كيفية التحكم في هذا النمو وماهي الكتلة اللازمة للمعالجة؟ وماهي كمية الكتلة الحيوية التي يجب إعادة تدويرها من حوض الترسيب ؟ وماهي كمية الأوكسيجين اللازمة للنشاط الحيوي؟ وماهي كمية الكتلة الحيوية التي تنتج من المعالجة والكتلة المتراكمة بمرور الوقت والكتلة الحيوية الزائدة عن حاجة

النشاط الحيوي ؟ وهذه المفاهيم أصبحت آليات تحكم في العملية ؛ وما حجم وشكل الحوض المناسب للعملية ؟ كل هذه الأسئلة والبحث في وجود إجابة لها جعلت من عمليات معالجة مياه الصرف بالحماة النشطة منذ ذلك الوقت علما كبيرا يشترك في وضع حلول لمشاكله وتصميمه بهدف الوصول لأفضل عملية معالجة بالحماة النشطة جيوش من العلماء والهندسين في مختلف التخصصات العلمية الكيميائية والميكروبيولوجية والبيولوجية والهندسية .

وأصبح مفهوما للعلماء والمهندسين منذ الثلاثينيات أن التحكم في عملية المعالجة بالحماة النشطة يتم عن طريق ضخ الأكسجين والتخلص من الكتلة الحيوية الزائدة ونسبة رجوع الحماة من حوض الترسيب وعندما يتم تشغيل العملية بشكل مناسب ستعطي مياه معالجة بجودة عالية وعبر السنين تم تعديل عملية الحماة النشطة وهذه التعديلات 1- إما تخص متغيرات العملية process variations (وتشمل زمن الحجز الهيدروليكي وتركيز المزيج المتخمر للمواد الصلبة العالقة في حوض التهوية ونسبة الغذاء للكائنات الحية أو ما يسمى نسبة حمل BOD5 لكتلة المزيج المتخمر للمواد الصلبة العالقة الطيارة أو القابلة للتحلل البيولوجي أو الأكسدة البيولوجية) 2- أو تتعلق بأسلوب العملية process mode (المعدل العالي أو التقليدي أو التثبيت بالتلامس أو التهوية المطولة) .

المكونات الموجودة في مياه الصرف الصحي يتم إزالتها بثلاث وسائل هي الوسائل الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية (الإحيائية) ؛ وتصنف الطرق لهذه الوسائل إلى وحدات تشغيل فيزيائي physical unit operation ووحدات عمليات كيميائي chemical unit processes ووحدات عمليات بيولوجية biological unit processes .

في عمليات المعالجة التي تطبق فيها أغلبها قوى فيزيائية لإزالة مكونات مياه الصرف تسمى وحدات تشغيل فيزيائية ومنها المصافي والترسيب وانتقال الغاز والترشيح والإدمصاص أو الإمتزاز ؛ والعمليات التي يكون فيها إزالة أو تحويل المكونات بإستخدام مواد كيميائية تسمى وحدات عمليات كيميائية وتشمل التطهير والأكسدة والترسيب والعمليات التي تتم فيها إزالة المكونات بطريقة حيوية أو بيولوجية تسمى وحدات عمليات بيولوجية ومنها مثلا كل عمليات الحماة النشطة المعروفة ؛ وقد وجد عمليا ان معدل هذه العمليات كلها يؤثر

على حجم الوسائل المستخدمة في العملية ويكون المعدل الذي يتم عنده التحويل والتفاعل للمكونات والدرجة التي يصل لها دالة في المكونات ودرجة الحرارة ونوع المفاعل التي تتم فيه هذه التحويلات والتفاعلات (ونقصد بالمفاعل الحوض التي تتم فيها التفاعلات والتحويلات الكيميائية والبيولوجية) ؛ وبالتالي كل من درجة الحرارة ونوع المفاعل المستخدم هام جدا في إختيار عمليات المعالجة مع الأخذ بالإعتبار الظروف البيئية الأخرى والوسائل أو المكونات الفيزيائية الأخرى التي تستخدم في العملية .

القواعد الأساسية في تحليل وحدات التشغيل الفيزيائية ووحدات العمليات الكيميائية والبيولوجية في معالجة مياه الصرف الصحي هي مبادئ إتران كتلة المواد حيث يتم حساب الكتلة قبل وبعد التفاعلات والتحويلات ولكي نتمكن من القيام بذلك لابد من معرفة 1-نوع المفاعل المستخدم في المعالجة 2-تحضير إتران كتلة لتعيين أداء العملية 3-نمذجة التدفق في المفاعلات 4-تحليل هيدروليكا المفاعل 5-نمذجة التدفق الغير نموذجي في المفاعل 6-معدلات التفاعل ومعاملات معدلات التفاعل 7-نمذجة حركية المعالجة وهذا يتطلب دمج معدلات المفاعلات مع معدلات التفاعلات 8-فهم إنتقال الكتلة 9-العوامل المهمة اللازمة لتحليل العملية وإختيارها .

عمليات معالجة مياه الصرف كما ذكرنا تستلزم وحدات تشغيل فيزيائي ووحدات عمليات كيميائي وبيولوجي وهذه العمليات تتم في أوعية أو أحواض تسمى المفاعلات .

محطة معالجة مياه الصرف بالمدينة المنورة المرحلة الثانية phase2 تعمل بطريقة التهوية المطولة للحماة النشطة وهي مصممة بنظام الكاروسيل وسوف تجري العمليات الحسابية التصميمية لها طبقا للقواعد والمعايير الألمانية لتصميم محطات معالجة مياه الصرف بطريقة التهوية المطولة (الممتدة) **ATV-DVWK-A 131E 2000** .

نظام الكاروسيل عبارة عن أحواض بيضاوية تشبه حلبة السباق مقسمة من الداخل إلى قنوات 2؛ 4؛ 6؛ 8 والمرحلة الثانية لمحطة المدينة الخليل مقسمة لحوضين A&B كل حوض ينقسم لعدد 4 حارات lane وكل حارة تنقسم من الداخل طوليا بجدار إلى قناتين وبالتالي يكون في كل حوض من A&B 8 قنوات بحيث يكون سريان المخلوط السائل حول هذه القنوات وتم تزويد الأحواض بحقول ناشرات هواء تستقبل الهواء المضغوط من نوافخ هواء لضمان عملية التهوية والتقليب بحيث يكون الأكسجين الذائب المتوفر 2-3mg/L

في مثل هذا النموذج من التصميم للمحطات يمكن الاستغناء عن المروقات الإبتدائية (أحواض الترسيب الإبتدائية) والهواضم حيث يتم تثبيت الحمأة هوائيا بأحواض التهوية

ترتبط كفاءة النظام ارتباط وثيق بنسبة حجم المنطقة اللاهوائية anoxic zone الى المنطقة الهوائية oxic zone او أحواض التهوية aeration tank حيث أوضحت الدراسات انه عندما تكون نسبة حجم المنطقة اللاهوائية الى المنطقة الهوائية (0.35 ؛ 0.49 ؛ 0.64) فإن معدل ازالة من النيتروجين كأمونيا نيتروجين N-NH₃ يكون (92.96 % ؛ 94.93 % ؛ 97.60) على التوالي ويكون معدل إزالة الفوسفور (80.22 ؛ 86.55 ؛ 92.30) على التوالي كما يكون معدل إزالة الكربون العضوي معبرا عنه COD أكثر من 90 % عند معدل التركيزات الثلاثة ولذلك كلما زادت نسبة حجم المنطقة اللاهوائية anoxic zone الى حجم المنطقة الهوائية يجب ضبط إعادة التدوير وإلا سيكون تركيز النترات غير كافي في المنطقة اللاهوائية anoxic zone مما يتسبب في إعادة اخراج الفوسفور من البكتريا المجمعة له مرة أخرى كما أن تركيز الأكسجين الجزئي يزيد تركيز للحد الذي تتضرر معه النترتة العكسية لأن بكتريا النترتة العكسية سوف تستخدم الأكسجين الجزئي بدلا من النترات في المسارات الكيموحيوية وبالتالي ينخفض معدل النترتة العكسية أو حتى يتوقف ويظهر ذلك جليا في إرتفاع تركيز النترات في السيب النهائي .

محطة المدينة الخليل تم تصميمها لإزالة الكربون العضوي والنيتروجين ولم يتم تصميمها لإزالة الفوسفور حيث لم يتم إدراج حوض لاهوائي anaerobic tank بحجم يكفي للتخمر اللاهوائي اللازم لنمو بكتيريا تجميع الفوسفور PAO's وتم الإكتفاء بحوض إنتقاء لاهوائي للتحكم في نمو البكتيريا الخيطية .

في نظام الكاروسيل توجد ثلاث أنواع من العوامل التي تؤثر في العملية وتؤثر وتتأثر ببعضها أيضا وهي :

1-العوامل البيئية : مثل درجة الحرارة والأكسجين الذائب ودرجة الحموضة وغيرها

2-معايير التشغيل : مثل الخليط الممزوج المتخمر MLSS ونسبة الكربون للنيتروجين C/N وغيرها

3-وضع التشغيل : مثل زمن المكث الهيدروليكي HRT وزمن المكث للمواد الصلبة أو الحمأة SRT ومعدل التدوير ومعدل التهوية ومعدل الحجم.

الفصل الأول

القواعد والمعايير الألمانية

German RULES AND STANDARDS

المواصفة

STANDARD

ATV-DVWK-A 131E 2000

أبعاد الأحواض لعملية المعالجة بالحماة النشطة ذات المرحلة الواحدة

Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants

Symbols الرمز ومعانيها

A_{ST}	m^2	Surface area of secondary settling tanks
a	–	Number of scraper blades in circular settling tanks
$B_{d,BOD}$	kg/d	Daily BOD ₅ load
$B_{d,XXX}$	kg/d	Daily load for another parameter
$B_{R,BOD}$	kg/(m ³ · d)	BOD ₅ volume loading rate
$B_{R,XXX}$	kg/(m ³ · d)	Volume loading rate with another parameter
$B_{SS,BOD}$	kg/(kg · d)	BOD ₅ sludge loading rate
$B_{SS,XXX}$	kg/(kg · d)	Sludge loading rate with another parameter
b	d ⁻¹	Decay coefficient
C_S	mg/l	Dissolved oxygen saturation concentration dependent on the temperature and partial pressure
C_X	mg/l	Dissolved oxygen concentration in aeration tanks (DO)
D_{ST}	m	Diameter of secondary settling tanks
DSV	l/m ³	Diluted sludge volume, 30 minutes settled (to be determined, if SV ₃₀ is higher than 250 L/m ³ , what generally is the case)
F_T	–	Temperature factor for endogenous respiration
f_C	–	Peak factor for carbon respiration
f_N	–	Peak factor for ammonium oxidation
f_{SR}	–	Sludge removal factor, dependent on the type of sludge scraper
h_1	m	Depth of the clear water zone in secondary settling tanks
h_2	m	Depth of the separation zone / return flow zone in secondary settling tanks
h_3	m	Depth of the density flow and storage zone in secondary settling tanks
h_4	m	Depth of the sludge thickening and removal zone in secondary settling tanks
h_{in}	m	Depth of the center of the inlet aperture (below water surface) of secondary settling tanks
h_{SR}	m	Height of a scraper blade or a scraper beam
h_{tot}	m	Total water depth in the secondary settling tank
L_{FS}	m	Length of a flight scraper in a rectangular tank ($L_{FS} \sim L_{ST}$)

L_{RW}	m	Length of the runway of a scraper bridge in rectangular settling tanks ($L_{RW} \sim L_{ST}$)
L_{SL}	m	Length of the sludge layer moved by a scraper blade in a rectangular settling tank ($L_{SL} \sim 15 \cdot h_{SR}$)
L_{SR}	m	Scraper blade or scraper beam length in rectangular secondary settling tanks ($L_{SR} \sim W_{ST}$)
L_{ST}	m	Length of rectangular secondary settling tanks



$M_{SS,AT}$	kg	Mass of suspended solids in the biological reactor / aeration tank
OC	kg/h	Oxygen transfer of an aeration facility in clean water with $C_x = 0$, $T = 20^\circ \text{C}$ and air pressure $p = 1013 \text{ hPa}$
αOC	kg/h	Oxygen transfer of an aeration facility in activated sludge with $C_x = 0$, $T = 20^\circ \text{C}$ and air pressure $p = 1013 \text{ hPa}$
$\text{OU}_{C,BOD}$	kg/kg	Oxygen uptake for carbon removal, referred to BOD_5
$\text{OU}_{d,C}$	kg/d	Daily oxygen uptake for carbon removal
$\text{OU}_{d,D}$	kg/d	Daily oxygen uptake for carbon removal which is covered by denitrification
$\text{OU}_{d,N}$	kg/d	Daily oxygen uptake for nitrification
OU_h	kg/h	Oxygen uptake rate (hourly)
PT_{XXX}	l	Total number of inhabitants and population equivalents referred to the parameters XXX, e.g. BOD_5 , COD etc.
Q	m^3/h	Inflow rate, flow rate, through flow rate
$Q_{DW,d}$	m^3/d	Daily wastewater inflow with dry weather
$Q_{DW,h}$	m^3/h	Hourly dry weather flow rate as 2 hr mean
$Q_{WW,h}$	m^3/h	Dimensioning peak flow rate with wet weather from combined and separate sewer systems
Q_{RS}	m^3/h	Return (activated) sludge flow rate
Q_{IR}	m^3/h	Internal recirculation flow rate at pre-anoxic zone denitrification process
Q_{RC}	m^3/h	Total recirculation flow rate ($Q_{RS} + Q_{IR}$) at pre-anoxic zone denitrification process
Q_{Short}	m^3/h	Short circuit sludge flow rate in secondary settling tanks
Q_{SR}	m^3/h	Sludge removal flow rate
$Q_{WS,d}$	m^3/d	Daily waste (activated) sludge flow rate
q_A	m/h	Surface overflow rate of secondary settling tanks
q_{SV}	$\text{l}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$	Sludge volume surface loading rate of secondary settling tanks
RC	-	Total recirculation ratio at pre-anoxic zone denitrification process ($\text{RC} = Q_{RC}/Q_{h,DW}$)
RS	-	Return sludge ratio ($\text{RS} = Q_{RS}/Q_{h,DW}$ or $Q_{RS}/Q_{h,WW}$)
SF	-	Safety factor for nitrification
SP_d	kg/d	Daily waste activated sludge production (solids)

$SP_{d,C}$	kg/d	Daily sludge production from carbon removal
$SP_{d,P}$	kg/d	Daily sludge production from phosphorus removal
SS_{C,BOD_5}	kg/kg	Sludge production from carbon removal referred to BOD_5
SS_{AT}	kg/m ³	Suspended solids concentration in the biological reactor / aeration tank (MLSS)
$SS_{AT,Step}$	kg/m ³	Average suspended solids concentration in the biological reactor with step-feed denitrification ($SS_{AT,Step} > SS_{EAT}$)
SS_{BS}	kg/m ³	Suspended solids concentration in the bottom sludge of secondary settling tanks



SS_{EAT}	kg/m^3	Suspended solids concentration in the effluent of the biological reactor / aeration tank (usually $SS_{EAT} = SS_{AT}$)
SS_{RS}	kg/m^3	Suspended solids concentration of the return (activated) sludge
SS_{WS}	kg/m^3	Suspended solids concentration of the waste (activated) sludge
SVI	l/kg	Sludge volume index
T	$^{\circ}C$	Temperature in the biological reactor / aeration tank
T_{ER}	$^{\circ}C$	Temperature in the biological reactor at which the effluent requirements for nitrogen have to be met
T_{Dim}	$^{\circ}C$	Temperature in the biological reactor / aeration tank upon which dimensioning is based
T_W	$^{\circ}C$	Temperature in the biological reactor in winter, $T_W < T_{Dim}$
t_D	h,d	Duration of denitrification phase with intermittent process
t_N	h,d	Duration of the nitrification phase with intermittent process
t_R	h,d	Retention period (e.g. $t_R = V_{AT} : Q_{h,DW}$)
t_s	h	Time for raising and lowering the scraper blade
t_{SR}	h	Sludge removal interval (Period of time for one loop of a scraper)
t_{SS}	d	Sludge age referred to V_{AT}
$t_{SS,dim}$	d	Sludge age upon which dimensioning is based
$t_{SS,aerob}$	d	Aerobic sludge age referred to V_N
$t_{SS,aerob,dim}$	d	Aerobic sludge age upon which dimensioning for nitrification is based
t_T	h	Cycle time with intermittent process ($t_T = t_D + t_N$)
t_{Th}	h	Thickening time of the sludge in the secondary settling tank
V_{AT}	m^3	Volume of the biological reactor / aeration tank
V_{BioP}	m^3	Volume of an anaerobic mixing tank for biological phosphorus removal
V_D	m^3	Volume of the biological reactor used for denitrification V_N m^3
		Volume of the biological reactor used for nitrification V_{Sel} m^3 Volume of
		an aerobic selector
V_{ST}	m^3	Volume of the secondary settling tank
V_{ret}	m/h	Return velocity of the scraper bridge
V_{SR}	m/h	Scraper bridge velocity (with circular tanks at the

periphery)

W_{ST}	m	Width of rectangular secondary settling tanks
Y	mg/mg	Yield factor (mg formed biomass (COD) per mg biodegradable COD)
α	–	Quotient of oxygen transfer in activated sludge and in clean water



Chemical parameters and concentrations:

C_{XXX}	mg/l	Concentration of the parameter XXX in the homogenized sample
S_{XXX}	mg/l	Concentration of the parameter XXX in the filtered sample (0.45 μ m membrane filter)
X_{XXX}	mg/l	Concentration of the filter residue (solids), $X_{XXX} = C_{XXX} - S_{XXX}$

Frequently used parameters:

C_{BOD}	mg/l	Concentration of BOD ₅ in the homogenized sample
C_{COD}	mg/l	Concentration of COD in the homogenized sample
$C_{COD,deg}$	mg/l	Concentration of biodegradable COD
C_N	mg/l	Concentration of total nitrogen in the homogenized sample as N
C_P	mg/l	Concentration of phosphorus in the homogenized sample as P
C_{TKN}	mg/l	Concentration of Kjeldahl nitrogen in the homogenized sample ($C_{TKN} = C_{orgN} + S_{NH4}$)
C_{orgN}	mg/l	Concentration of organic nitrogen in the homogenized sample ($C_{orgN} = C_{TKN} - S_{NH4}$ or $C_{orgN} = C_N - S_{NH4} - S_{NO3} - S_{NO2}$)
S_{ALK}	mmol/l	Alkalinity
S_{BOD}	mg/l	Concentration of BOD ₅ in the 0.45 μ m filtered sample
S_{COD}	mg/l	Concentration of COD in the 0.45 μ m filtered sample
$S_{COD,deg}$	mg/l	Concentration of dissolved, biodegradable COD
$S_{COD,inert}$	mg/l	Concentration of dissolved, inert COD
$S_{COD,ext}$	mg/l	Concentration of dissolved COD added as external carbon for the improvement of denitrification
S_{inorgN}	mg/l	Concentration of inorganic nitrogen ($S_{inorgN} = S_{NH4} + S_{NO3} + S_{NO2}$)
S_{NH4}	mg/l	Concentration of ammonium nitrogen in the filtered sample as N
S_{NO3}	mg/l	Concentration of nitrate nitrogen in the filtered sample as N
S_{NO2}	mg/l	Concentration of nitrite nitrogen in the filtered sample as N
$S_{NO3,D}$	mg/l	Concentration of nitrate nitrogen to be denitrified

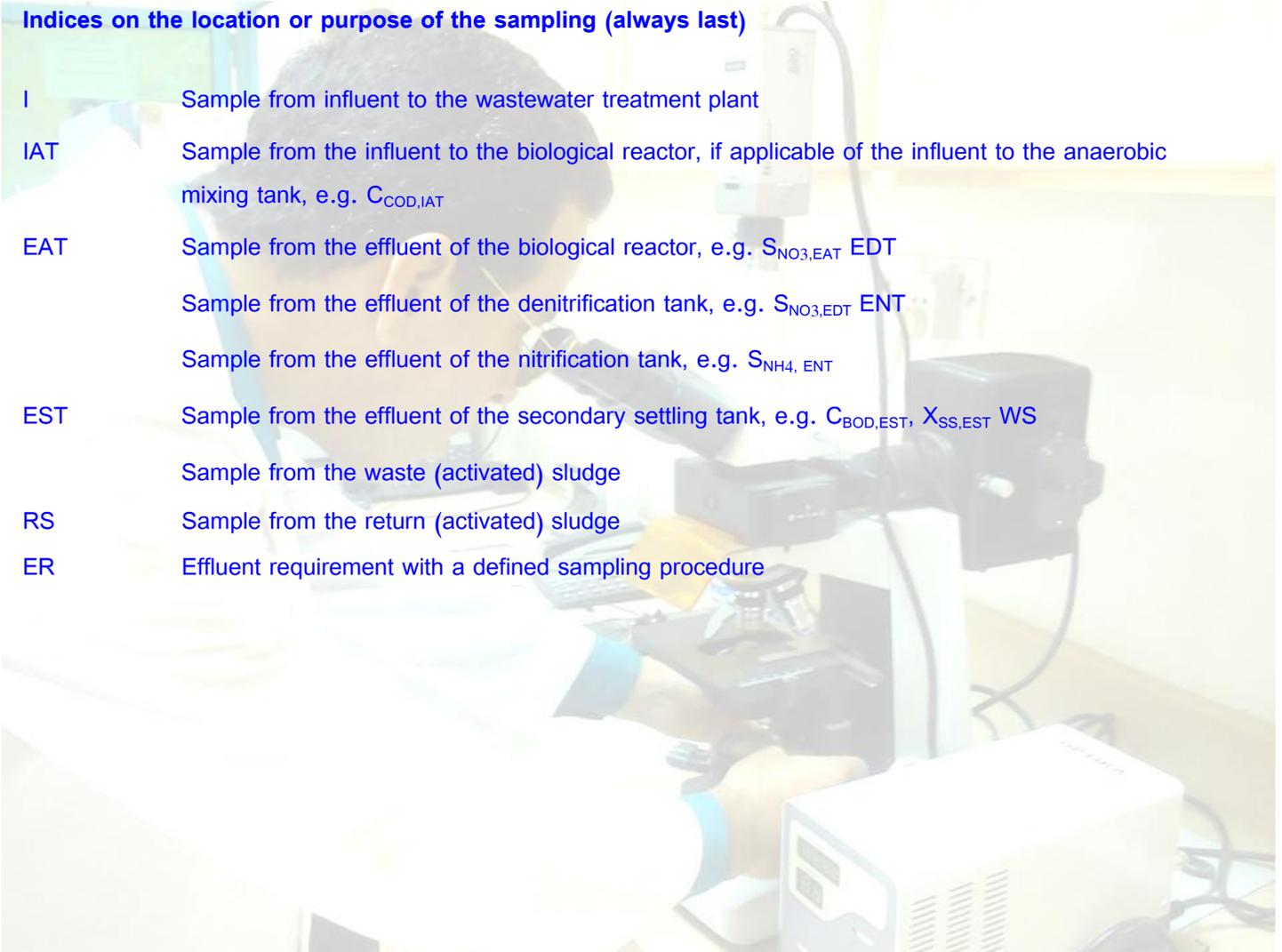
$S_{NO_3,D,ext}$	mg/l	Concentration of nitrate nitrogen to be denitrified with external carbon
$S_{NH_4,N}$	mg/l	Concentration of ammonium nitrogen to be nitrified
S_{PO_4}	mg/l	Concentration of phosphate as P (dissolved)
$X_{COD,BM}$	mg/l	Concentration of COD of the biomass
$X_{COD,deg}$	mg/l	Concentration of particulate, biodegradable COD
$X_{COD,inert}$	mg/l	Concentration of particulate, inert COD
$X_{orgN,BM}$	mg/l	Concentration of organic nitrogen embedded in the biomass
$X_{P,BM}$	mg/l	Concentration of phosphorus embedded in the biomass
$X_{P,Prec}$	mg/l	Concentration of phosphorus removed by simultaneous precipitation



$X_{P,BioP}$	mg/l	Concentration of phosphorus removed with biological excess phosphorus removal process
X_{SS}	mg/l	Concentration of suspended solids of wastewater (0.45 μ m membrane filters after drying at 105° C)
$X_{org,SS}$	mg/l	Concentration of organic suspended solids of wastewater
$X_{inorgSS}$	mg/l	Concentration of inorganic suspended solids of wastewater

Indices on the location or purpose of the sampling (always last)

I	Sample from influent to the wastewater treatment plant
IAT	Sample from the influent to the biological reactor, if applicable of the influent to the anaerobic mixing tank, e.g. $C_{COD,IAT}$
EAT	Sample from the effluent of the biological reactor, e.g. $S_{NO_3,EAT}$ EDT
	Sample from the effluent of the denitrification tank, e.g. $S_{NO_3,EDT}$ ENT
	Sample from the effluent of the nitrification tank, e.g. $S_{NH_4, ENT}$
EST	Sample from the effluent of the secondary settling tank, e.g. $C_{BOD,EST}$, $X_{SS,EST}$ WS
	Sample from the waste (activated) sludge
RS	Sample from the return (activated) sludge
ER	Effluent requirement with a defined sampling procedure



1-1 وصف العملية وإجراءات تقدير الأبعاد

Process Description and Procedure of Dimensioning

عملية المعالجة بالحماة النشطة هي عملية واحدة تشمل المفاعل (حوض التهوية) بالمعدات اللازمة وحوض الترسيب الثانوي وخط رجوع الحماة النشطة الذي يربط المفاعل مع حوض الترسيب .

يتميز سلوك الترسيب للحماة النشطة بمؤشر حجم الحماة, (SVI) volume index بالإشتراك مع تركيز المواد الصلبة في الخليط المتخمر لحوض التهوية (SS_{AT}) = MLSS والذي يتأثر كلاهما ويتأثر بحجم حوض الترسيب الثانوي والمفاعل .

كل من خواص مياه الصرف الصحي الخام وشكل المفاعل وهدف المعالجة يؤثر على (SVI) ؛ والمفاعل الذي من المفترض أن يكون حوض خلط كامل عادة ما يعطي مؤشر حجم حماة كبير ويميل إلى السماح بنمو البكتيريا الخيطية بصورة أكبر من التي يكون فيها تدرج للتركيز مثل التي يكون فيها التدفق دقيقي plug flow أو المتتالي cascade .

في مياه الصرف التي تحتوي على جزء كبير من المواد العضوية سهلة التحلل البيولوجي يمكن التغلب على الخيطيات بإدراج حوض إنتقاء قبل حوض التهوية أو تخصيص جزء من المفاعل للقيام بهذه المهمة وبالتالي إعتبار حوض الإنتقاء جزء من المفاعل أو حوض التهوية كما في الشكل (1) ؛ وبالرغم من وجود حوض الإنتقاء فإنه لا يمكن التحكم في الخيطيات بشكل كامل في كل الأحوال .

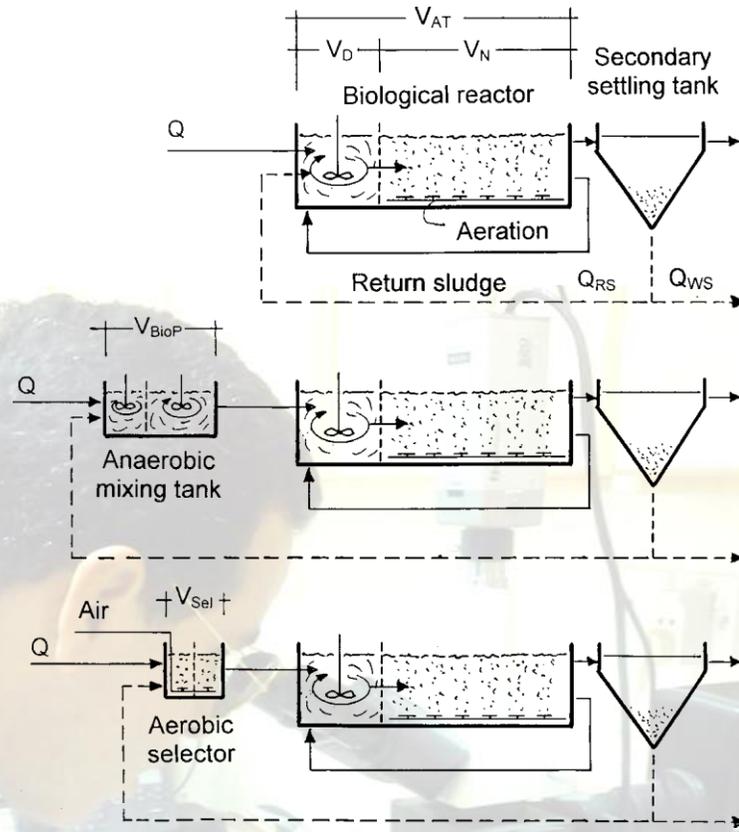


Fig.1: Flow diagram for the nomenclature of an activated sludge plant for nitrogen removal without and with an upstream anaerobic mixing tank for biological phosphorus removal or an aerobic selector

وفي المنطقة اللاهوائية القبلية أو السابقة (pre-anoxic zone) تتم عملية النترتة العكسية وكل عمليات إزالة النيتروجين كما في الشكل أعلاه ويخدم المفاعل فقط في إزالة الكربون العضوي والذي يمكن دمج مع حوض إنتقاء هوائي أو لاهوائي .

حجم حوض الإنتقاء الهوائي (V_{Sel}) أو حوض الخلط لإزالة الفوسفور (V_{BioP}) لا يعتبر جزء من حجم المفاعل الحيوي (حوض التهوية) ؛ وفي المحطات التي تصمم لإزالة الكربون فقط يعتبر حجم حوض الإنتقاء الهوائي جزء من حجم حوض التهوية يرتبط حجم حوض التهوية بعمر الحماة, $sludge\ age\ (t_{ss})$ والذي يناظر تقريبا زمن المكث لندف الحماة في المفاعل. ويعرف بأنه حاصل كتلة المواد الصلبة العالقة الجافة في المفاعل الحيوي ($V_{AT} \cdot SS_{AT}$) وكتلة المواد الصلبة الجافة اليومية للحماة الزائدة.

وإذا كان المفاعل الحيوي يحتوي على منطقة لاهوائية **anoxic zone** لنزع النترية (V_D)؛ فإن عمر الحمأة ($t_{SS,aerob}$) يعرف بأنه حاصل كتلة المواد الصلبة الجافة للحمأة في الجزء الهوائي من المفاعل الحيوي وكتلة الحمأة الزائدة اليومية للحمأة النشطة ($V_N = V_{AT} - V_D$) التلوث المتبقي في المياه الخارجة من حوض الترسيب الثانوي يرجع إلى المواد الصلبة الذائبة والغروية وجزء منها للمواد الصلبة العالقة الناتجة من الحمأة النشطة التي تم ترسيبها وهذا يعتمد على كفاءة حوض الترسيب الثانوي .

تركيز المواد الصلبة العالقة كمادة صلبة لكل 1 mg/L للمياه المعالجة ثانويا يزيد تركيز كل من :

الكربون العضوي للأكسجين الحيوي الممتص بنسبة $C_{BOD} 0.3\text{mg/l}-1.0\text{ mg/l}$

الكربون العضوي للأكسجين الكيميائي المستهلك بنسبة $C_{COD} 0.8\text{mg/l}-1.4\text{ mg/l}$

الكربون العضوي النيتروجيني الحيوي الممتص بنسبة $C_N 0.08\text{mg/l}-1.0\text{ mg/l}$

الكربون العضوي الفوسفوري الحيوي الممتص بنسبة $C_P 0.02\text{mg/l}-0.04\text{ mg/l}$

1-1-2 المفاعل الحيوي Biological Reactor

معالجة مياه الصرف بالحمأة النشطة تحتاج إلى الأتي

*تغذية كافية للكتلة الحيوية (الخليط المتخمر MLSS للحمأة النشطة) SS_{AT} بالمفاعل

*نقل كافي للأكسجين لتغطية إمتصاص الأكسجين الممتص بواسطة البكتيريا بحيث يكون متوافق مع ظروف التشغيل والأحمال .

*خط كافي لمنع ترسيب الحمأة ويمكن تحقيق ذلك عن طريق استخدام خلاطات أو حتى

يمكن أن يتم بواسطة الهواء المضغوط بالإنتشار والذي يستلزم كميات قدرها 0.15 m/s

للحمأة الخفيفة ذات التركيزات المنخفضة و 0.3 m/s للحمأة الثقيلة أو ذات التركيز العالي وطبقا لحجم وشكل الحوض تكون الطاقة المستهلكة $1-5\text{ W/m}^3$ في الوضع الطبيعي

*التقليل من الروائح الكريهة والضوضاء والإهتزازات

لإزالة النيتروجين يوجد العديد من التصميميات ونظم التشغيل كما في الشكل (2)

*عملية نزع النترة المسبق pre-anoxic zone denitrification حيث يتم خلط كل من المياه الخام والحماة الراجعة والتدوير الداخلي في حوض نزع النترة ؛ كل من حوض نزع النترة وحوض النترة يمكن أن تكون كاشلالات في التدفق ولمرونة التشغيل يمكن جعل الجزء الأخير من حوض نزع النترة قابل للتهوية كما يجب التقليل بقدر الإمكان من إعادة التدوير وذلك لتقليل الكسجين الذي يمكن أن ينتقل مع الخليط المتخمر إلى حوض نزع النترة مما يقلل كفاءة أو يوقف فاعلية الحوض في إزالة النيتروجين حيث ستجد البكتيريا الأكسجين متاحا وبالتالي يسهل التعامل معه بدلا من النترات .

*عملية نزع النترة المتدرجة step-feed denitrification process : ويستخدم فيها مفاعلين أو أكثر لكل منها منطقة لنزع نترة مسبق أو منطقة لنزع النترة المتزامن يتم التدفق من مفاعل لآخر حيث يتم تقسيم المياه الخام وتوزيعها بالتساوي على الأحواض إلى حوض نزع النترة او منطقة نزع النترة بالحوض ؛ وبسبب تقسيم المياه الخام سيكون تركيز الخليط المتخمر في الحوض الأول سيكون أعلى من تركيز الخليط المتخمر الخارج من حوض الترسيب الثانوي .

*عملية النترة العكسية المتزامنة simultaneous denitrification process ؛ وعمليا يجب ان ندرك ان في نظام تدفق التدوير أو ما يعرف بالكاروسيل carousel أن الخليط والمياه التي يتم تدويرها تمر عبر منطقة النترة ومنطقة النترة العكسية في نفس الحوض مما يجعل البعض يعتبر أن النترة العكسية المتزامنة هو نوع من أنواع النترة العكسية القبلية الذي يتم من خلال نسبة تدوير عالي داخلي للخليط والمياه ؛ يتم التحكم الآلي في التهوية على سبيل المثال طبقا لمحتوى النترات والأمونيا والإنكسار في جهد الأكسدة والإختزال أو محتوى الأكسجين على التوالي ويكون معدل امتصاص الأكسجين ضروري بالقياس للتخفيف وباعتبار أن حوض التدوير هو حوض خلط كامل .

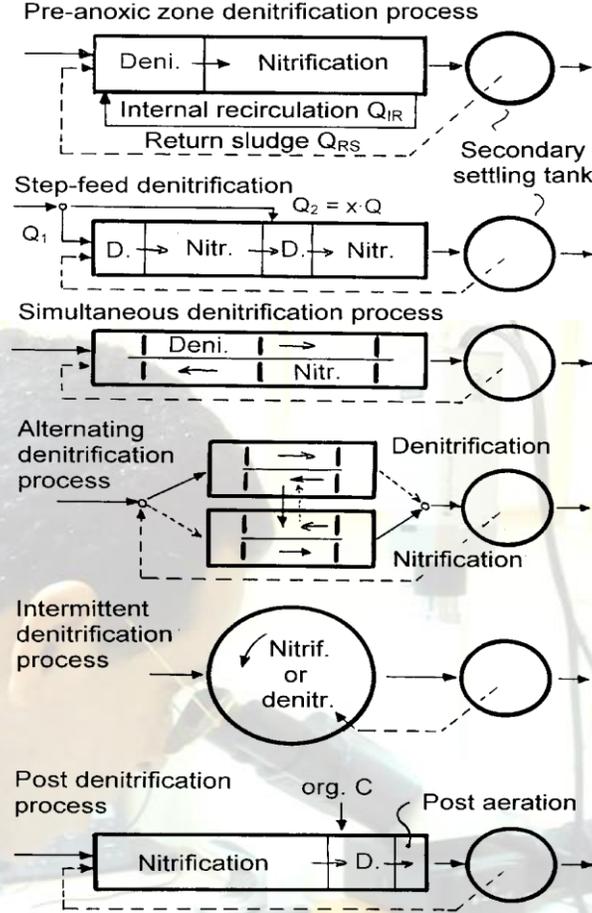


Fig. 2: Nitrogen removal procedures

* طريقة أخرى للنترتة العكسية وهي bio-denitro وتتكون من أحواض تهوية متتابعة يتم تغذيتها بطريقة متقطعة واحد تلو الآخر حيث ينتقل المياه من الحوض عديم التهوية الأول الممتلئ لحوض التهوية الذي يليه ومنه لحوض الترسيب الثانوي

* النترتة العكسية المتقطعة intermittent denitrification : يتم فيها تبادل النترتة و النترتة العكسية في نفس الحوض ويمكن التحكم في كل عملية منهما بمؤقت زمني أو أوتوماتيكيا ؛ على سبيل المثال طبقا لتركيز النترات وتركيز الأمونيوم والإنكسار في جهد الأكسدة والإختزال أو معدل إمتصاص الأكسجين .

تركيز الأكسجين العالي في نهاية مرحلة النترتة يؤثر بالسلب على مرحلة النترتة العكسية .

يعتبر حوض النترتة - النترتة العكسية المتقطعة حوض خلط كامل .

عملية النترتة العكسية المتأخرة أو البعدية post denitrification تستخدم في حالة الإنخفاض الشديد لنسبة C/N وبشرط أن يكون إضافة مصدر خارجي للكربون غير مسموح به ويكون مكان حوض نزع النترتة هو مصب للخارج من حوض النترتة .

لزيادة إزالة الفوسفور بيولوجيا يتم استخدام أحواض لاهوائية **anaerobic tank** ويفضل أن تكون مجزأة إلى أكثر من حوض حيث يتيح ذلك التخلص من النترات الموجودة في الحمأة الراجعة في الجزء الأول من الأحواض اللاهوائية وبالتالي يفضل أن يكون حوض الإنتقاء جزء من الأحواض البيولوجية اللاهوائية .

في الأحواض البيولوجية اللاهوائية أو أحواض التخمر البيولوجي التي يتم خلط المياه الخام مع الحمأة الراجعة بها في الحوض الأول الذي يمثل حوض الإنتقاء حيث يتم التحكم بالخييطيات نتيجة الحمل العضوي العالي الذي يختلط بكتلة حيوية تحتوي على كمية كبيرة من البكتيريا الإختيارية الصانعة للندف تتغذى على المواد العضوية الذائبة وتترك القليل منها للخييطيات التي لا تقدر على المنافسة ؛ كما يتم التخلص من النترات الموجودة مع الحمأة الراجعة ثم تمر للحوض الثاني حيث يكتمل تخمر المواد العضوية وتحويلها لأحماض دهنية قصيرة السلسلة الكربونية تشجع نمو البكتيريا المجمعة للفوسفور .

يمكن ازالة المزيد من الفوسفور ايضا في المحطات التي تم تصميمها لإزالة الكربون فقط بشرط ألا يقل عمر الحمأة عن 2-3 يوم .

1-1-3 حوض الترسيب الثانوي Secondary Sedimentation Tank

مهمة الحوض هي فصل المياه المعالجة عن الحمأة ؛ سعة حمل المحطة من الحمأة النشطة يتم تقديره عن طريق تركيز المواد الصلبة العالقة للحمأة النشطة (**SS_{AT}**) وحجم حوض التهوية كما يعتمد تركيز الحمأة النشطة في حوض الترسيب على التغذية الهيدروليكية بصورة أساسية ومؤشر حجم الحمأة وإزالة الحمأة من النظام أو نسبة الحمأة الزائدة ونسبة تدوير الحمأة أو نسبة الحمأة الراجعة .

يجب أن يلبي تصميم حوض الترسيب الثانوي الآتي :

*فصل الحماة النشطة عن المياه المعالجة بالجاذبية

*تغليظ وإزالة الحماة النشطة المترسبة للتدوير إلى حوض التهوية

*تخزين متوسط للحماة النشطة الناتجة من زيادة التدفق ($Q_{ww,h}$) أثناء هطول الأمطار في حال ربط شبكة تصريف الأمطار على شبكة الصرف الصحي .

عملية الترسيب في حوض الترسيب الثانوي تتأثر بالتخثير في منطقة الدخول كثافة تيارات وتصميم المدخل والمخرج ونسبة الحماة الراجعة وإجراءات إزالة الحماة ؛ يتم تركيز الحماة في الطبقة السفلى من قاع الحوض وهذا يعتمد على مؤشر حجم الحماة (SVI) وسمك غطاء الحماة وزمن الترسيب ونوعية نظام إزالة الحماة .
في حالة هطول الأمطار تزيد كمية الحماة المنقولة من حوض التهوية لحوض الترسيب وبالتالي يجب أن يكون جاهز لهذا الغرض .

1-1-4 إجراءات تصميم الأبعاد لمراحل المعالجة بالحماة النشطة The dimensioning of activated sludge plants

تحديد الأبعاد لمراحل أو أحواض عملية الحماة النشطة يتم تكراريا وذلك لأن العديد من العوامل تؤثر على بعضها بالتبادل ومسار الحسابات التالي في هذا الشكل (3) يمثل طريقة الحساب والذي يتم فيه إعادة الحسابات أو تكرارها مع فرضية جديدة .

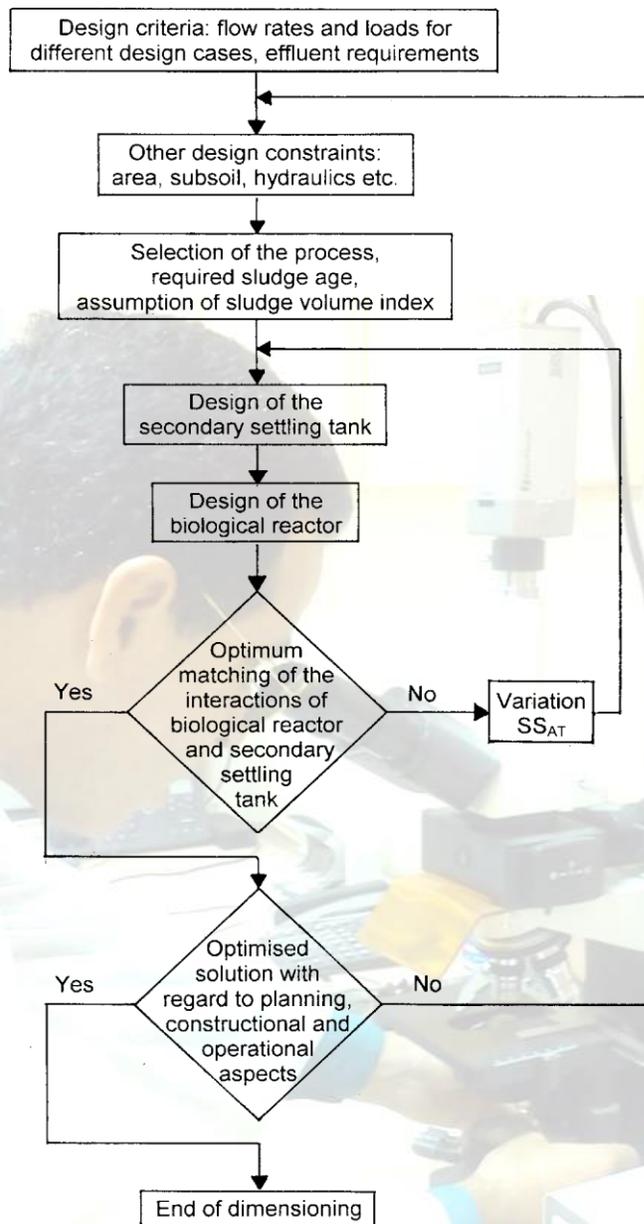


Fig. 3 Sequence of planning and dimensioning

يفضل إتباع هذه الخطوات في إجراء الحسابات :

1-تقدير الأبعاد الخاصة في تصميم سعة المحطة والتدفق والحمل الوارد لحوض التهوية

2-اختيار وتحديد طبيعة العملية ؛ فمثلا إذا كان الهدف إزالة النيتروجين فيجب ان نقرر ماهي العملية التي سوف تتم بها النترة و النترة العكسية كما يجب تقرير ما إذا كان هناك حاجة لعمل حوض إنتقاء لتحسين خواص الترسيب وكذلك تجنب مشاكل الحمأة الناتجة من النمو المطرد للبكتيريا الخيطية أو حوض لاهوائي anaerobic tank بهدف إزالة الفوسفور قبل حوض التهوية .

3-تقدير عامل الأمان الضروري للمحطة فمثلا في المحطات التي تهدف للنترة فقط يجب تقدير عمر الحمأة مع الأخذ بالإعتبار درجة الحرارة ؛ وكلاهما يتم إهماله في التثبيت الهوائي للحمأة .

4-في المحطات التي تهدف لإزالة النيتروجين يجب تقدير كتلة النترات التي تتكون أثناء النترة والتي يجب نزع النترة لها عن طريق إتزان النيتروجين .

5-بالأخذ بالإعتبار عملية نزع النترة يجب تقدير نسبة حجم نزع النترة إلى حجم حوض التهوية (V_D/V_{AT}) كما يتم حساب عمر الحمأة ($t_{SS,dim}$) ؛ إذا تم إضافة تثبيت الحمأة هوائيا ضمن العملية فإنه يجب إختيار عمر للحمأة يناسب ذلك

6-يجب إختيار مؤشر لحجم الحمأة مناسب لمكونات مياه الصرف وترتيب مراحل المعالجة وخواص الخلط في حوض التهوية وما إذا كانت العملية تتضمن حوض إنتقاء وهل هو هوائي أم لاهوائي .

7-إختيار زمن تغليظ (تركيز) (t_{Th}) لحوض الترسيب الثانوي معتمدا على العملية البيولوجية المختارة وتقدير تركيز المواد الصلبة العالقة الجافة في أسفل غطاء الحمأة (SS_{BS}) كدالة في مؤشر حجم الحمأة وزمن التغليظ .

8-تقدير تركيز المواد الصلبة العالقة (SS_{RS}) للطبقة السفلى لغطاء الحمأة وتخفيف تيار إزالة الحمأة طبقا لنظام إزالة الحمأة.

9-إختيار نسبة رجوع الحمأة (RS) وتقييم تركيز المواد الصلبة العالقة في حوض التهوية المسموح به (SS_{AT}) ؛ تركيز المواد الصلبة العالقة يتأثر بحجم حوض التهوية وحوض الترسيب بصورة معاكسة فحجم حوض التهوية يقل بزيادة تركيز المواد الصلبة العالقة أو الخليط المتخمر (SS_{AT}) بينما يزيد مساحة سطح حوض الترسيب وعمقه .

10- يتم تقدير مساحة سطح حوض الترسيب (A_{ST}) من معدل التدفق السطحي المسموح به أو حجم معدل حمل الحمأة (q_A)

11- تقدير عمق حوض الترسيب من خلال الأعماق للمناطق الوظيفية للحوض والموصفات الأخرى .

12- تقدير إنتاجية الحمأة في اليوم (SP_d) مع الخذ بالإعتبار الحمأة الناتجة من إزالة الفوسفور وعند إضافة مصدر للكربون من الخارج لعملية نزع النترية .

13- حساب كتلة المواد الصلبة ($M_{SS,AT}$) اللازمة لحوض التهوية والمناسبة لعمر الحمأة المختار وحساب حجم حوض التهوية وحجم الحوض اللاهوائي anaerobic tank لإزالة الفوسفور

14- حساب معدل التدفق لإعادة التدوير الداخلي للمنطقة اللاهوائية لنزع النترية anoxic zone أو زمن الدورة في حالة نزع النترية المتقطع .

15- حساب الأوكسيجين المستهلك في حوض التهوية

16- فحص القلوية قبل وبعد النترية والنترية العكسية ودرجة الحموضة .

17- حساب حجم حوض الإنتقاء لتحسين الترسيب

1-2 حسابات التدفق والأحمال dimensioning of flows and loads

1-2-1 حمل المياه الخام

الحمل العضوي للمياه الخام kg/d ($B_{d,BOD,I}$) يتم تقديره من الأوكسيجين الحيوي الممتص أو المطلوب للمياه الخام ويمثل 85% من التدفق الوارد في الطقس الجاف دون أمطار أو طبق لعدد السكان كما في الجدول رقم (1) ؛ كما يجب الأخذ بالإعتبار العوامل التالية للمياه الخام الداخلة لحوض التهوية *أعلى وأقل درجة حرارة للمياه لمدة 2-3 عام واخذ المتوسط لكل اسبوعين وعمل منحى لها *الحمل العضوي ($B_{d,BOD}$ $B_{d,COD}$) وحمل المواد الصلبة العالقة ($B_{d,SS}$) وحمل الفوسفور ($B_{d,P}$) وذلك لتقدير إنتاجية الحمأة ومن ثم حجم حوض التهوية .

* حمل النيتروجين والحمل العضوي المصاحب وتركيز النيتروجين (C_N) وتركيز المواد العضوية المصاحبة (C_{BOD} , C_{COD}) وذلك لتقدير النترات التي سوف يتم نزع النترية لها .

*تركيز الفوسفور لتقدير كمية الفوسفور التي سيتم إزالتها

*تقدير أقصى معدل تدفق وارد ($Q_{DW,h}$ (m^3/h)) لتصميم حوض الخط اللاهوائي anaerobic ومعدل تدفق التدوير الداخلي

*معدل التدفق $Q_{WW,h}$ (m³/h) لتصميم حوض الترسيب

يتم معرفة الحمل اليومي من خلال عينات مركبة خلال اليوم تمثل متوسط الحمل ؛ ويمكن تقدير الحمل اليومي طبقا للتعداد السكاني كما في الجدول (1) .

Parameter	Raw wastewater	Flow time in the primary settling stage with $Q_{h,DW}$	
		0.5 to 1.0 h	1.5 to 2.0 h
BOD ₅	60	45	40
COD	120	90	80
DS	70	35	25
TKN	11	10	10
P	1.8	1.6	1.6

Table 1: Inhabitant-specific loads in g/(l·d), which are undercut on 85 % of the days, without taking into account sludge liquor

2-2-1 الأحمال الناتجة من مياه التصافي لأحواض تركيز الحمأة او الغسيل العكسي أو المياه المفصولة بالطرد المركزي من الديكانتر

Loading from sludge liquor and external sludge

*يتم ضخ المياه الناتجة من وحدات معالجة الحمأة بكميات صغيرة على دفعات لتجنب الحمل الزائد على مدخل المحطة .

3-1 أبعاد حوض التهوية aeration tank dimensioning

1-3-1 الأبعاد طبقا للتجارب dimensioning on basis of experiment

في هذه الطريقة يتم الأخذ بالإعتبار الآتي :

*إنتاجية الحمأة وعمر الحمأة

*تقسيم حوض التهوية لمناطق هوائية aerobc ولاهوائية anaerobic & anoxic zones

*الأكسجين المستهلك بالإمتصاص في العملية والذي يكفي للتوزيع المناسب للنشاط البكتيري .

*الأكسجين الكيميائي الذائب المتبقي (S_{COD,EST}) dissolved residual COD

2-3-1 المحطات بدون نترتة

المحطات التي تعمل بنظام الحمأة النشطة بدون الحاجة لنترتة يتم تصميم حوض التهوية بحيث يكون عمر الحمأة 4-5 يوم كما هو موضح بالجدول (2) وذلك لأن بكتيريا النترتة تحتاج للنمو والتكاثر لفترة زمنية

تتراوح بين 6-8 أيام ولكي تقوم ببنترتة فعالة في العملية تحتاج بين 6-10 أيام عند درجة حرارة 20°C) وهذا هو السبب في إجراء إختبار BOD5 بإختبار أيام الإختبار 5 أيام عند 20°C لمنع تأثير عملية النترتة على الإختبار كما يستخدم أحيانا مثبط لنشاط بكتيريا النترتة كما سوف نفصل في الإختبارات لاحقا)

Treatment target	Size of the plant $B_{d,BOD5}$			
	Up to 1.20 kg/d 0		Over 6.00 kg/d 0	
Dimensioning temperature	10 °C	12 °C	10 °C	12 °C
Without nitrification	5		4	
With nitrification	10	8,2	8	6,6
With nitrogen removal				
$V_D/V_T =$				
0,2	12,5	10,3	10,0	8,3
0,3	14,3	11,7	11,4	9,4
0,4	16,7	13,7	13,3	11,0
0,5	20,0	16,4	16,0	13,2
Sludge stabilization including N removal	25		Not recommended	

Table 2: Dimensioning sludge age in days dependent on the treatment target and the temperature as well as the plant size (intermediate values are to be estimated)

3-3-1 المحطات بدون نترتة

يعطى عمر الحمأة ($t_{SS,aerob}$) للمحطة التي يتم نترتة بها من المعادلة :

$$t_{SS,aerob \ dim} = SF * 3.4 * 1.103^{(15-T)} \quad (d) \quad (5-1)$$

والرقم 3.4 هو مقلوب الحد الأقصى لمعدل النمو الصافي لبكتيريا أكسدة الأمونيا النيتروزوموناس عند 15 درجة مئوية (2.13 يوم) وعامل قدره 1.6 وبالتالي مع عمر (2.13 يوم) عند درجة حرارة 15 درجة مئوية فإن بكتيريا النترتة لا تتجمع ولا تكون نشيطة ؛ و الرقم 3.4 هو معامل تجريبي مشتق من معدل النمو الصافي لبكتيريا النيتروزوموناس .

باستخدام عامل أمان يجب الأخذ بالإعتبار

*التغير في أقصى معدل نمو تحت تأثير الحرارة ودرجة الحموضة

*تركيز الأمونيا في المياه المعالجة

*التغير في حمل النيتروجين مع التغير في تركيز الأمونيا للمياه المعالجة

وبناء على كل الخبرة السابقة فإنه للمحطات التي تعمل عند حمل عضوي قدرة $B_{d,BOD,I} = 1,200 \text{ kg/d}$

(20,000 PT), أن يكون عامل الأمان $SF = 1.8$ وللمحطات التي يكون فيها الحمل العضوي $B_{d,BOD,I} \geq$

(100,000 PT) $6,000 \text{ kg/d}$ يكون عامل الأمان $SF = 1.45$ وسيكون مع هذا تركيز الأمونيوم للمياه

المعالجة $S_{NH_4,EST} = 1.0 \text{ mg/l}$ فلا يوجد تأثير على الحد الأقصى لنمو بكتيريا النترة

إذا كانت المحطة تستقبل حمل عضوي $B_{d,BOD,I} < 6,000 \text{ kg/d}$ وقيمة $f_N < 1.8$ فإن عامل الأمان

سيكون $SF < 1.45$ إلا إذا تم الإستعانة بخزان توازن للتحكم في الحمل العضوي عندها لن ينخفض عامل

الأمان عن $SF=1.45$

في الشتاء لو درجة الحرارة عند مخرج حوض التهوية أقل من درجة الحرارة المطلوبة لبقاء الأمونيا في المياه

المعالجة, (T_{ER}) فإن العلاقة $T_{dim} = (T_{ER} - 2)$ يتم تطبيقها لتحقيق نترته عند درجة حرارة تحت السيطرة

وقد تم إقتراح $T_{ER} = 12^\circ \text{ C}$ درجة حرارة طبقا لحجم المحطة مع الخذ بالإعتبار عامل الأمان الذي تم

إختياره وسيكون عمر الحمأة طبقا لذلك هو :

*المحطات التي يكون الحمل العضوي لليوم حتى هو $B_{d,BOD,I} = 1200 \text{ kg/d}$ يكون عمر الحمأة

$t_{SS,aerob,dim} = 10 \text{ d}$

*المحطات التي يكون الحمل العضوي أكبر من $B_{d,BOD,I} = 6000 \text{ kg/d}$ يكون عمر الحمأة لها

$t_{SS,aerob,dim} = 8 \text{ d}$ والجدول السابق (2) يلخص عمر الحمأة طبقا للحمل الوارد .

للحد من استهلاك العالي للقلوية أثناء النترة؛ يمكن التخطيط لعمل نزع نترته جزئي .

1-3-4 المحطات مع نترته و نترته عكسية **Plants with nitrification & denitrification**

يتم تحديد عمر الحمأة المناسب لكي تتم عمليتي النترة والنترته العكسية من المعادلات التالية V_{AT} :

$$t_{SS,dim} = t_{SS,aerob} * \frac{1}{1 - (\frac{V_D}{V_{AT}})} \quad (d) \quad (5-2)$$

ومع المعادلة (1-5)

$$t_{SS,aerob \ dim} = SF * 3.4 * 1.103^{(15-T)} * \frac{1}{1 - (\frac{V_D}{V_{AT}})} \quad (d) \quad (5-3)$$

في المعادلة (3-5) اعلاه درجة الحرارة هي درجة الحرارة المطبقة واللازمة لنزع النيتروجين او إزالته ($T_{dim} = T_{ER}$) وبالتالي $T_{ER} = 12^{\circ} C$ وفي الشتاء حيث تنخفض درجات الحرارة $12^{\circ} C$ عن يتم حساب حجم المنطقة V_D/V_{AT} لدرجات الحرارة المنخفضة من المعادلة (4-5) التالية ؛ وإذا لم يوجد قياس مقبول لدرجة الحرارة يتم خفض t_{ER} بمقدار 2-4 درجة مئوية وتطبيقها في المعادلة (4-5) إذا كانت درجة الحرارة أقل من 10 درجات مئوية في خلال اسبوعين متتاليين 4 درجات مئوية .

$$\left(\frac{V_D}{V_{AT}}\right) = \frac{SF * 3.4 * 1 * 103 (15 - T_w)}{t_{SS,dim}} \quad (5-4)$$

يمكن عمل منطقة لاهوائية أو حوض تخمر لاهوائي anaerobic fermentation tank بحجم V_D عند المنطقة الهوائية pre-anoxic zone .

إذا كانت قيمة V_D/V_{AT} سالبة عند حسابها من المعادلة (4-5) يمكن وضع عامل أمان أقل من $SF = 1.2$ وإلا يلزم زيادة حجم حوض التهوية .

يجب تصميم احواض التهوية عند درجة حرارة 12 درجة مئوية لأنه لا يوجد تجربة حتى الآن لتشغيلها عند درجة حرارة أقل من 8 درجات مئوية وفي كل حالة يجب التحقق من أن القلوية المتبقية كافية إذا كان المستهدف أن يكون تركيز نيتروجين -الأمونيا للمياه المعالجة $S_{NH4,ER} < 10 \text{ mg/l}$ أو أن الحمل الوارد للمحطة يخضع لتغيرات كبيرة

1-3-5 المحطات مع التثبيت الهوائي للحمأة Plants with aerobic sludge stabilization

في هذه الحالة يتم تصميم أحواض التهوية بحيث يكون عمر الحمأة $t_{SS,dim} \geq 20 \text{ d}$ لكي يناسب التثبيت والنترة وإذا كان الهدف إزالة النيتروجين عبر عملية النترة العكسية فإن عمر الحمأة يجب أن يكون $t_{SS,dim} \geq 25 \text{ d}$ لكي يحقق هذا ؛ وإذا كانت درجة الحرارة في حوض التهوية في متوسط درجات الحرارة خلال اسبوعين فإنه يمكن خفض عمر الحمأة وتحديده من خلال المعادلة التالية :

$$t_{SS,dim} \geq 25 * 1.072^{(12-T)} \quad (5-5)$$

وإذا كان الحمل العضوي في موسم الصيف أو الأيام الدافئة أكبر من الحمل في الأيام الباردة أو الشتاء فإن كتلة الحمأة $M_{SS,AT}$ المطلوبة يجب أن يتم تقديرها لكل حالة على حدة بإستخدام المعادلة (5-5) والتي تتناسب بالطبع مع حجم حوض التهوية .

إذا كانت سعة بحيرات الحمأة تكفي لمدة عام تخزين للحمأة السائلة لكي يتم عمل تثبيت لاهوائي لها

فيما بعد فإنه يمكن خفض عمر الحماية للعملية التي يكون فيها نترتة عكسية إلى

$$t_{SS,dim} = 20 \text{ d.}$$

كمية النترات المتوقع عمل نترته عكسية لها وحجم المنطقة اللاهوائية anoxic zone بالنسبة لحجم المنطقة الهوائية oxic zone V_D/V_{AT} لا تؤثر على عمر الحماية .

6-3-1 تقدير حجم منطقة النترتة العكسية بالنسبة لحجم حوض التهوية

Determination of the proportion of the reactor volume for denitrification

تركيز النترات التي تتكون يوميا والتي تحتاج لنترتة عكسية يتم حسابها من العلاقة التالية

$$S_{NO3D} = C_{N, IAT} - S_{org N, EST} - S_{NH4 EST} - X_{org N, BM} \quad \text{mg/l} \quad (5-6)$$

إذا تم تقدير تركيز النيتروجين الداخل لحوض التهوية ($C_{N, IAT}$) عند درجة حرارة 12 درجة مئوية وفي مواسم درجات الحرارة المرتفعة أو الأماكن الدافئة فيجب تقدير قيمة $C_{N, IAT}/C_{COD, IAT}$ واخذها في الاعتبار .
بالنسبة لتركيز النترات ($S_{NO3, IAT}$) الداخلة لحوض التهوية عادة تكون منخفضة جدا ويتم اهمالها إلا في بعض الحالات مثل المياه الجوفية أو مياه الصرف الصناعي فيجب الأخذ بالإعتبار تركيز النترات الداخلة في المركبات العضوية النيتروجينية الكربون العضوي $S_{NO3, IAT}$ in $C_{N, IAT}$.
في المحطات التي تستخدم هواضم لاهوائية وطرق ميكانيكية لنزح المياه من الحمأة يجب الأخذ في الإعتبار النيتروجين الموجود في مياه التصافي أو الرشيق والنتيجة من الطرد المركزي حيث أنها تعود لمدخل المحطة وترفع تركيز النيتروجين الداخل ($C_{N, IAT}$) .

يمكن ان يصل تركيز النيتروجين الخارج $S_{org N, EST} = 2 \text{ mg/l}$ وفي حالة وجود مياه صرف صناعي يمكن أن يكون أعلى وكعامل أمان يتم إعتبار الأمونيا الخارجة صفر $S_{NH4, EST} = 0$

ويكون النيتروجين الموجود في الكتلة الحيوية $X_{org N, BM} = 0.04 \text{ to } 0.05 \cdot C_{BOD, IAT}$ أو $0.02 \text{ to } 0.025 \cdot C_{BOD, IAT}$

تركيز النترات للمنتج المصاحب والذي يتم تقديره من عينات مركبة كل ساعتين عشوائيا يكون أقل من تركيز النيتروجين الغير عضوي المستهدف ($S_{inorg N, ER}$) ومن الممكن عمليا الحصول على تركيزات نترات

$$S_{NO3, EST} = 0.8 \text{ to } 0.6 \cdot S_{inorg N, ER}$$

يمكن تقدير سعة النترتة العكسية من خلال تركيز BOD₅ المصاحب والداخل لحوض التهوية أو لحوض الخلط البيولوجي اللاهوائي من النسبة $S_{NO_3,D}/C_{BOD,IAT}$ ؛ و للنترتة العكسية المتزامنة أو المتقطعة يمكن تطبيق المعادلات التالية لنسبة V_D/V_{AT}

$$\frac{S_{NO_3,D}}{C_{BOD,IAT}} = \frac{0.75 O_{Uc,BOD}}{2.90} * \left(\frac{V_D}{V_{AT}}\right) \quad (\text{mg N/mg BOD}_5) \quad (5-7)$$

$$= V_D * 0.75 * \frac{O_{Ud,c}}{V_{AT}} \quad (\text{kg/d}) \quad (5-7) \frac{Q_d * 2.90 * S_{NO_3,D}}{1000}$$

في المعادلة الأخيرة الطرف الأيسر منها يمثل الأكسجين الناتج من حمل النترات التي سوف يتم عمل نترتة عكسية لها والطرف الأيمن يمثل الأكسجين الممتص في المنطقة اللاهوائية *anoxic* التي سيتم فيها النترتة العكسية والرقم 0.75 يمثل الحد الأدنى من معدل امتصاص النترات الكلي إلى معدل إمتصاص الأكسجين ويتم تقدير $O_{Uc,BOD}$ من المعادلة (5-24) كما سنرى وذلك لتحديد عمر الحماة كما يتم تحديد درجة الحرارة المناظرة أيضا من الجدول (7) ودرجة حرارة تتراوح بين 10-12 درجة مئوية يتم حساب القيم من العلاقة (5-7) والتي تم تلخيص النتائج في الجدول (3)

V_D/V_{AT}	$S_{NO_3,D}/C_{BOD,IAT}$	
	Pre-anoxic zone denitrification and comparable processes	Simultaneous and intermittent denitrification
0.2	0.11	0.06
0.3	0.13	0.09
0.4	0.14	0.12
0.5	0.15	0.15

Table 3: Standard values for the dimensioning of denitrification for dry weather at temperatures from 10° to 12° C and common conditions (kg nitrate nitrogen to be denitrified per kg influent BOD₅)

في درجات الحرارة 10-12 درجة مئوية حجم منطقة النترتة العكسية anoxic zone التي تكون أقل من $V_D/V_{AT} = 0.2$ و أكبر $V_D/V_{AT} = 0.5$ من لا يوصى بها وتكون سعة منطقة النترتة العكسية للعمليات الأخرى النترتة العكسية وسط بين النترتة العكسية القبلية (السابقة) النترتة العكسية المتقطعة .

لدرجات الحرارة أكبر من 12 درجة مئوية يتم زيادة حجم منطقة النترتة العكسية بواقع 1% لكل زيادة قدرها درجة حرارة مئوية واحدة .

وإذا تم التصميم للتدوير في ضوء تركيز COD فإنه يتم اعتماد

$$S_{NO_3,D}/C_{COD,IAT} = 0.5 \cdot (S_{NO_3,D}/C_{BOD,IAT}).$$

وفي حالة إعادة التدوير لنسبة حجم $V_D/V_{AT} = 0.1$ يتم اعتماد $S_{NO_3,D}/C_{BOD,IAT} = 0.08$ للمنطقة

اللاهوائية anoxic zone ونسبة $S_{NO_3,D}/C_{BOD,IAT} = 0.03$ للنترتة العكسية المتزامنة والمتقطعة ؛ أما

إذا كانت النسبة $V_D/V_{AT} < 0.1$ يتم اعتماد نسبة $S_{NO_3,D}/C_{BOD,IAT} = 0$

وإذا كانت سعة النترتة العكسية أكبر $S_{NO_3,D}/C_{BOD} = 0.15$ فيكون من غير المفضل زيادة نسبة

حجم V_D/V_{AT}

الحاجة لمصدر خارجي من الكربون يكون بمقدار COD 5 kg لكل 1 kg NO₃ التي يستهدف

النترتة العكسية لها ويمكن حساب متوسط الزيادة في COD من المعادلة

$$S_{COD,Ext} = 5 * S_{NO_3,D,Ext} \text{ (mg/L)} \quad (5-8)$$

الجدول التالي (4) يوضح خواص الكربون الخارجي التي تتم إضافته

Parameter	Unit	Methanol	Ethanol	Acetic acid
Density	kg/m ³	790	780	1,060
COD	kg/kg	1.50	2.09	1.07
COD	kg/L	1.185	1.630	1.135

Table 4: Characteristics of external carbon sources

7-3-1 إزالة الفوسفور

يمكن إزالة الفوسفور وحده من خلال الترسيب المتزامن بالترسيب القبلي أو البعدي ؛ يمكن تصميم حوض خلط لاهوائي anaerobic بحيث يكون زمن التلامس 0.5 إلى 0.75 ساعة آخذين في الإعتبار التدفق الوارد ومعدل تدفق الحماة الراجعة. ($Q_{DW,h} + Q_{RS}$) وتعتمد درجة إزالة الفوسفور بيولوجيا على تركيز نسبة المواد العضوية سهلة التحلل البيولوجي إلى نسبة الفوسفور أكثر منه على زمن التلامس يتم تقدير الفوسفات التي سوف يترسب من العلاقة :

$$X_{P,Prec} = C_{P,IAT} - C_{P,EST} - X_{P,BM} - X_{P,bioP} \quad (\text{mg/L}) \quad (5-9)$$

حيث $C_{P,IAT}$ هو تركيز الفوسفور الداخل لحوض التهوية و $(C_{P,EST})$ هو تركيز الفوسفور بعد المعالجة ويمكن إختياره حسب احتياجات الفوسفور في المنتج, $(C_{P,ER})$ فمثلا $C_{P,EST} = 0.6 \text{ to } 0.7 C_{P,ER}$

الفوسفور اللازم لبناء الكتلة الحيوية الغير ذاتية التغذية $(X_{P,BM})$ يمكن إختيار $0.01 C_{BOD,IAT}$ or $0.005 C_{COD,IAT}$ على التوالي وفي حالة مياه الصرف البلدية يمكن فرض التالي لإزالة الفوسفور الزائد بيولوجيا: $(X_{P,BioP})$

*للأحواض اللاهوائية anaerobic قبل حوض التهوية

$$X_{P,BioP} = 0.01 \text{ to } 0.015 * C_{BOD,IAT} \text{ or } 0.005 \text{ to } 0.007 C_{COD,IAT}$$

* مع درجات حرارة منخفضة يزداد تركيز $S_{NO3,EST}$ increases to $\geq 15 \text{ mg/l}$,

*في المحطات التي بها منطقة نزع نترتة مسبق pre-anoxic zone وبدون حوض خلط لاهوائي

$$X_{P,BioP} \leq 0.005 C_{BOD,IAT} \text{ or } 0.002 C_{COD,IAT}$$

$C_{COD,IAT}$

*إذا كانت التدوير لمنطقة نترتة عكسية قبلية pre-anoxic zone تفرغ في منطقة لاهوائية يكون

$$X_{P,BioP} \leq 0.005 C_{BOD,IAT} \text{ or } 0.002 C_{COD,IAT}$$

يتم استخدام والتي $X_{P,Prec}$ $1.5 \text{ mol Me}^{3+}/\text{mol}$ تعطي الترسيب بأملح الحديد والألومنيوم

كالتالي :

Precipitation using iron 2.7 kg Fe/kg P_{prec}

Precipitation using aluminum 1.3 kg Al/kg P_{prec}

وللترسيب المتزامن أو بالتوازي يتم تجريع الجير كمحلول للداخل لحوض الترسيب الثانوي لرفع درجة الحموضة وتقدر كمية الجير المستخدمة طبقا لقلوية المياه ولقيم التحكم $C_{P,ER} < 1.0 \text{ mg/l}$, e.g. $C_{P,ER} = 0.8 \text{ mg/l}$ وعمليا يمكن الحصول على إزالة للفوسفور $C_{P,EST} < 1.0 \text{ mg/l}$ في ظل ظروف مناسبة

8-3-1 تقدير إنتاجية الحمأة sludge production determination

تنتج الحمأة نتيجة أكسدة وتحول المواد العضوية لكتلة حيوية سواء المواد العضوية الكربونية أو المواد الفوسفاتية وبالتالي فإن مجموع إنتاجية الحمأة هو حاصل الحمأة الناتجة من أكسدة وتحول هذه المركبات ونظرا لصغر الحمأة التي تنتج من المركبات الأخرى يتم إهمالها .

ويعبر عن إنتاجية الحمأة في اليوم بالمعادلة (5-10)

$$SP_d = SP_{d,C} + SP_{d,P} \quad (\text{kg/d}) \quad (5-10)$$

والعلاقة بين عمر الحمأة وإنتاجية الحمأة بالمعادلة (5-11)

$$tss = \frac{M_{SS,AT}}{SP_d} = \frac{V_{AT} * SS_{AT}}{SP_d} = \frac{V_{AT} * SS_{AT}}{Q_{WS,d} * SS_{WS} + Q_{d,X} * SS_{EST}} \quad (d) \quad (5-11)$$

وإذا تم إهمال المواد الصلبة العالقة في المنتج الثانوي ($Q_d * X_{SS,EST}$) الخارج من حوض الترسيب الثانوي لصغر كتلته فإنه يمكن إعتبار إنتاجية الحمأة (SP_d) مساويا لكتلة الحمأة الزائدة ($Q_{WS,d} * SS_{WS}$) التي يتم تخريجها من النظام يوميا .

لحساب إنتاجية الحمأة التي تنتج من إزالة الكربون يتم إستخدام المعادلة التالية التي تستخدم معامل هارتويج (5-12)؛ حيث (b) الكتلة الحيوية الناتجة من البكتيريا المتحللة cell debris وهي تساوي

$$b = 0.2$$

$$SP_{d,C} = B_{d,BOD} * [0.75 + (0.6 * \frac{X_{SS,IAT}}{C_{BOD,IAT}})] - \left(\frac{(1-b) * 0.17 * 0.75 tss * F_T}{1 + (0.17 * tss * F_T)} \right) \quad (\text{kg/d}) \quad (5-12)$$

معامل الحرارة للتنفس الذاتي (الداخلي) F_T يعطى بالعلاقة (5-13)

$$F_T = 1.072^{(T-15)}$$

(5-13)

إذا تم استخدام مصدر خارجي للكربون لتحسين النترتة العكسية فإنه حينما $S_{COD,Ext} \geq 10 \text{ mg/l}$

يكون والمبسط في المعادلة (5-12) فيجب زيادة $B_{d,BOD}$ إلى

$0.5 \cdot S_{COD,Ext}/1000 \cdot Q_d$ في المعادلة (5-12) وايضا في الجدول (5) $C_{BOD,IAT}$ بالقيمة $0.5 \cdot S_{COD,Ext}$.

مع $S_{COD,Ext} \leq 10 \text{ mg/l}$ إهمال إنتاجية الحمأة الإضافية .

الجدول التالي (5) الإنتاجية النوعية للحمأة المحسوبة من المعادلة (5-12) لدرجة حرارة 10-12 درجة مئوية .

$X_{SS,IAT}/C_{BOD,IAT}$	Sludge age in days					
	4	8	10	15	20	25
0.4	0.79	0.69	0.65	0.59	0.56	0.53
0.6	0.91	0.81	0.77	0.71	0.68	0.65
0.8	1.03	0.93	0.89	0.83	0.80	0.77
1.0	1.15	1.05	1.01	0.95	0.92	0.89
1.2	1.27	1.17	1.13	1.07	1.04	1.01

Table 5: Specific sludge production $SP_{C,BOD}$ [kg SS/kg BOD_5] at 10° to 12° C

تحسب إنتاجية الحمأة الناتجة من إزالة الفوسفور والتي تتكون من المواد الصلبة الناتجة من إزالة الفوسفور البيولوجي الزائدة والترسيب الموازي .

كل جرام من الفوسفور يتم إزالته بيولوجيا ينتج 3 جم من الحمأة أو المواد الصلبة ؛ ويعتمد ناتج المواد الصلبة من الترسيب الموازي على نوعية المواد المستخدمة في الترسيب وكميته وتكون في

حدود 2.5 كجم من المواد الصلبة الناتجة لكل 1 كجم من الحديد و 4 كجم من المواد الصلبة لكل 1 كجم من الألومنيوم وإذا تم الترسيب بغستخدام الجير يكون إنتاجية الحمأة 1.35 كجم من المواد الصلبة لكل كجم من هيدروكسيد الكالسيوم .

تكون الإنتاجية الكلية من الحمأة الناتجة من إزالة الفوسفور ($SP_{d,p}$) كما في المعادلة (5-14)

$$SP_{d,P} = \frac{Q_d \cdot (3 \cdot X_{P,bioP} + 6.8 X_{p,Prec,Fe} + 5.3 X_{p,Prec,Al})}{1000} \quad (\text{kg/d}) \quad (5-14)$$



9-3-1 إفتراض مؤشر حجم الحمأة وتركيز المواد الصلبة العالقة للخليط المتخمر

Assumption of sludge volume index and mixed liquor suspended solids

يعتمد مؤشر حجم الحمأة على تركيب المياه الخام وخواص الخلط في حوض التهوية ؛ الكمية الكبيرة من المواد العضوية القابلة للتحلل البيولوجي في مياه الصرف الصناعي تعطي مؤشرات حمأة عالية جدا .

الجدول (6) يبين القيم القياسية لمؤشرات حجم الحمأة ؛ إذا كان مؤشر حجم الحمأة بعد نصف ساعة أكبر من 250 مل / لتر يجب تخفيف الخليط المتخمر بمياه المنتج الثانوي ليكون بين 100-150 مل / ل آخذين في الإعتبار نسبة التخفيف لحجم الحمأة المخفف .

Treatment target	SVI (l/kg)	
	Industrial/commercial wastewater influence	
	Favorable	Unfavorable
Without nitrification	100 - 150	120 - 180
Nitrification (and denitrification)	100 - 150	120 - 180
Sludge stabilization	75 - 120	100 - 150

Table 6: Standard values for the sludge volume index

تستخدم القيم المنخفضة المتتالية في حالات الإستغناء عن حوض الترسيب إبتدائي أو استخدام حوض لاهوائي قبل حوض التهوية أو يكون التدفق لحوض التهوية شلالي أو دفتي **plug flow**

تركيز الخليط المتخمر للمواد الصلبة العالقة (SS_{AT}) بحوض التهوية يتم تقديره أثناء تصميم وتحديد أبعاد حوض الترسيب الثانوي ؛ الشكل (4) الخاص بالتحديد الأولي لحوض التهوية يمكن منه أيضا تحديد تركيز الخليط المتخمر .

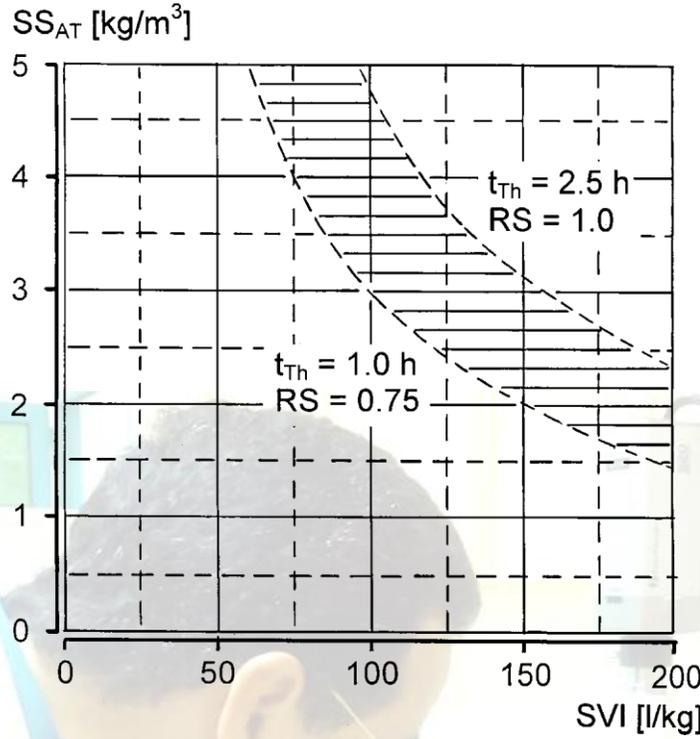


Fig. 4: Approximate values for the mixed liquor suspended solids concentration in the biological reactor dependent on the sludge volume index for $SS_{RS} = 0.7 SS_{BS}$

10-3-1 حجم المفاعل او حوض التهوية

طبقا للمعادلة (5-11) كتلة المواد الصلبة العالقة في حوض التهوية من المعادلة (5-15)

$$M_{SS, AT} = t_{SS, Dim} * SP_d \text{ (kg)} \quad (5-15)$$

ونحصل على حجم الحوض من المعادلة (5-16)

$$V_{AT} = \frac{M_{SS, AT}}{SS_{AT}} \text{ (m}^3\text{)} \quad (5-16)$$

يمكن حساب معدل التحميل الحجمي للأوكسيجين الحيوي الممتص BOD_5 أو B_R وحمل الحمأة

(B_{SS}) من المعادلات (5-17) و (5-18)

$$B_R = \frac{B_{d, BOD}}{V_{AT}} \text{ (Kg BOD5/m}^3\text{.d)} \quad (5-17)$$

$$B_{SS} = \frac{B_R}{SS_{AT}} \text{ (Kg BOD5/kg SS.d)} \quad (5-18)$$

وفي حالة التغذية بالتدرج التي تتضمن نزع نترته يستخدم المعادلات (5-16) و (5-18) بدلا من

$SS_{AT,Step} > SS_{EAT}$ or SS_{AT} , ولذلك $SS_{AT} SS_{AT,Step}$

وللعمليات ثنائية المراحل $SS_{AT,Step} \sim 1.14 \cdot SS_{EAT}$ وللعمليات ثلاثية المراحل $SS_{AT,Step} \sim 1.20 \cdot SS_{EAT}$

11-3-1 إعادة التدوير وزمن الدورة required recirculation and cycle time

نسبة تدفق إعادة التدوير الكلية الضرورية (RC) لمنطقة نزع النترة المسبق باستخدام تركيز

نيتروجين - الأمونيوم $S_{NH4,N}$ الذي سيخضع لنترة عكسية يتم حسابه بالمعادلة (5-19) و (5-20)

$$RC = \frac{S_{NH4,N}}{S_{NO3,EST}} - 1 \quad (5-19)$$

$$RC = \frac{Q_{RS}}{Q_{DW,h}} + \frac{Q_{IR}}{Q_{DW,h}} \quad (5-20)$$

حيث يتم تعيين RC بالمعادلة (5-19) و Q_{IR} بالمعادلة (5-20) ويكون أعلى كفاءة ممكنة للنترة العكسية

هو المحسوب من المعادلة (5-21)

$$\eta_D \leq 1 - \frac{1}{1+RC} \quad (5-21)$$

ويتم تقدير الكفاءة للنترة العكسية في طرق التغذية المتدرجة عن طريق الجزء (X) من حمل التغذية لحوض

النترة العكسية الأخير وإذا لزم الأمر يتم الأخذ في الاعتبار التدوير الداخلي ويتم الحساب بدون تدوير داخلي

من المعادلة (5-22)

$$\eta_D = 1 - \frac{X}{1+RC} \quad (5-22)$$

ويتم حساب زمن الدورة ($t_T = t_N + t_D$) للنترة العكسية المتقطعة من المعادلة (5-23)

$$t_T = t_R = \frac{S_{NO3,EST}}{S_{NH4,N}} \quad (5-23)$$

ويكون وحدة قياس زمن المكث $t_R = V_{AT}/Q_{h,DW}$ وزمن الدورة (t_T) واحد ولا يفضل أن يكون زمن

الدورة أقل من 2 ساعة

12-3-1 إنتقال الأوكسجين oxygen transfer

إمتصاص الأوكسجين ينتج من إزالة المواد الكربونية أو الكربون (بما في ذلك التنفس الداخلي او

الذاتي) وإحتياجات النترة والأوكسجين المتوفر من نزع النترة .

ولإزالة النيتروجين تستخدم المعادلة (5-24) التي تبني على معامل هارتويج ويمكن حساب القيم كما

في الجدول (7) أيضا .

بالنسبة للكربون المضاف من الخارج يمكن

إهمال الأكسجين اللازم له لأنه يعوض من النترات .

$$OU_{d,c} = B_{d,BOD} * (0.56 + \frac{0.15 * tss * F_T}{1 + 0.17 * tss * F_T}) \text{ (kg O}_2\text{/d)} \quad (5-24)$$

معاملات المعادلة (24-5) تطبق للنسبة $C_{COD,IAT}/C_{BOD,IAT} \leq 2.2$ أما إذا كانت النسبة أعلى من ذلك من خلال القياسات العملية يجب تقدير إستهلاك الأكسجين الواقعي لتصميم حوض التهوية بالإستعانة بقياسات COD .

من ذلك يجب تعيين معدل استهلاك الأكسجين لتصميم حوض التهوية بمساعدة COD .

الأكسجين المستهلك في النترته يكون حسب المعادلات الكيميائية 4.3 كجم أوكسجين لكل 1 كجم من النيتروجين المؤكسد آخذين في الإعتبار التمثيل الغذائي لبكتيريا النترته ؛ وفي عملية نزع النترته 2.9 كجم أوكسجين لكل 1 كجم من نيتروجين النترات يتم نزع نترته .

$$OU_{d,N} = \frac{Qd * 4.3 * (S_{NO3,D} - S_{NO3,IAT} + S_{NO3,EST})}{1000} \text{ (kg O}_2\text{/d)} \quad (5-25)$$

$$OU_{d,D} = \frac{Qd * 2.9 * (S_{NO3,D})}{1000} \text{ (kg O}_2\text{/d)} \quad (5-26)$$

أعلى معدل يومي لإمتصاص الأكسجين (OU_h) يعطى بالمعادلة (27-5)

$$OU_h = \frac{f_c * (OU_{d,c} - OU_{d,D}) + S_{NO3,EST} + f_N * OU_{d,N}}{24} \text{ (kg O}_2\text{/hr)} \quad (5-27)$$

ويمثل معامل الذروة f_c النسبة بين معدل إمتصاص الأكسجين لإزالة الكربون في ساعة الذروة إلى متوسط معدل إمتصاص الأكسجين اليومي ومعامل الذروة f_N يكافئ نسبة حمل نيتروجين كداهل الكلي TNK في ساعتين من ساعات الذروة إلى متوسط الحمل خلال 24 ساعة .

T° C	Sludge age in days					
	4	8	10	15	20	25
10	0.85	0.99	1.04	1.13	1.18	1.22
12	0.87	1.02	1.07	1.15	1.21	1.24
15	0.92	1.07	1.12	1.19	1.24	1.27
18	0.96	1.11	1.16	1.23	1.27	1.30
20	0.99	1.14	1.18	1.25	1.29	1.32

Table 7: Specific oxygen consumption $OU_{C,BOD}$ [$kgO_2/kgBOD_5$], valid for $C_{COD,IAT}/C_{BOD,IAT} \leq 2.2$

وكقاعدة إذا ظهر أعلى معدل إمتصاص للأكسجين للنترة قبل نظيره لإزالة الكربون يتم عمل إثنين من الحسابات من المعادلة (27-5) الأول $f_C = 1$ يكون مع فرض قيمة لمعامل الذروة f_N والثانية $f_N = 1$ مع فرض قيمة لمعامل الذروة f_C

ويتم اخذ القيمة المناظرة OU_h في الظروف الطبيعية من الجدول (8)

Sludge age d	4	6	8	10	15	25
f_C	1.30	1.25	1.20	1.20	1.15	1.10
f_N for $B_{d,BOD,l} \leq 1200$ kg/d	-	-	-	2.5	2.00	1.50
f_N for $B_{d,BOD,l} > 6000$ kg/d	-	-	2.00	1.80	1.50	-

Table 8: Peak factors for the oxygen uptake rate (to cover the 2 h peaks compared with the 24 h average, if no measurements are available)

وإنقال الأكسجين الضروري لحوض التهوية بطريقة التهوية المستمرة من المعادلة (28-5) والتهوية المنقطعة من المعادلة (29-5)

$$\text{req.}\alpha\text{oc} = \frac{C_s}{C_s - C_x} * OV_h \quad (\text{kg O}_2/\text{hr}) \quad (5-28)$$

$$\text{req.}\alpha\text{oc} = \frac{C_s}{C_s - C_x} * OV_h * \frac{1}{1 - V_D/V_{AT}} \quad (\text{kg O}_2/\text{hr}) \quad (5-29)$$

تركيز الأكسجين الذائب في الجزء الهوائي oxic zone من الحوض يكون $C_x = 2$ mg/l بينما في المنطقة اللاهوائية الخاصة بنزع النترة يجب ألا يزيد عن $C_x = 0.5$ mg/l لنزع النترة المتزامن أو المتوازي

13-3-1 Alkalinity القلوية

يعبر عن القلوية بتركيز هيدروجين الكربونات وهي تنخفض نتيجة النترية أو إضافة أملاح الحديدوز والحديدك والألومنيوم لترسيب الفوسفور كما يؤدي ذلك لإنخفاض درجة الحموضة .

تنتج القلوية الداخلة لحوض التهوية ($S_{ALK,IAT}$ in mmol/l) من قلوية (أو عسر) مياه الشرب ومن تحويل اليوريا لأمونيا والنيتروجين العضوي فيما يعرف بعملية ammonification ؛ والقلوية عبر النترية بما في ذلك التعويض لها من خلال نزع النترية وترسيب الفوسفات تتناقص كالتالي كما في المعادلة (5-30) :

$$S_{alk,EAT} = S_{alk,IAT} - [0.07*(S_{NH4,IAT} - S_{NH4,EST} + S_{NO3,EST} - S_{NO3,IAT}) + 0.06*S_{Fe3} + 0.04*S_{Fe2} + 0.11*S_{Al3} - 0.03*X_{P,Prec}] \text{ (m mol/L)} \quad (5-30)$$

يجب ألا تقل القلوية عن $S_{ALK,EAT} = 1.5 \text{ m mol/l}$ وإلا يتم إضافة محلول الجير وفي أحواض التهوية العميقة حيث يكون العمق أكبر من أو يساوي 6 متر والتي يكون بها توزيع جيد للأكسجين يمكن أن تبقى القيمة أقل 6.6 بسبب حبس ثاني أكسيد الكربون في هذا العمق والجدول (9) يبين علاقة درجة الحموضة مع توزيع الكسجين والقلوية .

$S_{alk,EAT}$ [mmol/l]	pH values in the aeration tank with an average oxygen transfer efficiency of				
	6%	9%	12%	18%	24%
1.00	6.60	6.40	6.30	6.10	6.00
1.50	6.80	6.60	6.50	6.30	6.20
2.00	6.90	6.70	6.60	6.40	6.30
2.50	7.00	6.80	6.70	6.50	6.40
3.00	7.10	6.90	6.80	6.60	6.50

Table 9: pH values in the aeration tank dependent on the oxygen transfer efficiency and the alkalinity, calculated in accordance with [4]. The oxygen transfer efficiency is to be determined for operating conditions

1-4 أبعاد حوض الترسيب الثانوي

1-4-1 حدود التطبيق وخواص المنتج

طبقا لمعدل التدفق الأقصى ومعدل مياه الأمطار أو ما يعرف معا بمعدل تدفق الطقس الرطب $Q_{WW,h}$ (m^3/h), يتم تقدير مؤشر حجم الحمأة وتركيز المواد الصلبة العالقة SS_{EAT} (kg/m^3) وبإستثناء عملية النترتة العكسية في نظام التغذية بالتدريج وأحواض التهوية المزودة بفواصل لاميلا .

يجب تقدير التالي لتصميم احواض الترسيب الثانوي

*شكل وأبعاد حوض الترسيب الثانوي

*زمن تخزين وتغليظ الحمأة المسموح به

*معدل تدفق الحمأة الراجعة

*نوع وطريقة تشغيل نظام الحمأة الزائدة

*ترتيب وتصميم المدخل والمخرج

تطبق هذه القواعد للتالي :

*أحواض الترسيب ذات الأقطار حتى 60 م

*مؤشر حجم الحمأة $50 L/kg \leq SVI \leq 200 L/kg$

*حجم الحمأة المخفف $DSV \leq 600 L/m^3$

*معدل تدفق الحمأة الراجعة $Q_{RS} \leq 0.75 \cdot Q_{WW,h}$ بالنسبة لحوض التدفق الأفقي وللحوض التدفق الرأسي

$Q_{RS} \leq 1.0 \cdot Q_{WW,h}$

*تركيز المواد الصلبة العالقة الداخل لحوض الترسيب SS_{EAT} يكون $SS_{AT} > 1.0 kg/m^3$

1-4-2 مؤشر حجم الحمأة وزمن التركيز (التغليظ) المسموح به **sludge volume index and**

allowed thickening time

Type of wastewater treatment	Thickening time t_{Th} in h
Activated sludge plants without nitrification	1.5 – 2.0

Activated sludge plants with nitrification	1.0 – 1.5
Activated sludge plants with denitrification	2.0 – (2.5)

Table 10: Recommended thickening time in dependence on the degree of wastewater treatment

1-4-3 تركيز المواد الصلبة العالقة في الحمأة الراجعة suspended return sludge solids concentration

يتكون معدل تدفق الحمأة الراجعة Q_{RS} من معدل تدفق إزالة الحمأة ومعدل تدفق الدورة القصيرة Q_{Short} الذي يحدث مع زحافات الحمأة؛ تركيز المواد الصلبة العالقة في قاع الحمأة SS_{BS} يعتمد على مؤشر حجم الحمأة وزمن التخليط t_{Th} ويعطى بالمعادلة (1-6)

$$SS_{BS} = \frac{1000}{SVI} * \sqrt[3]{tTh} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (6-1)$$

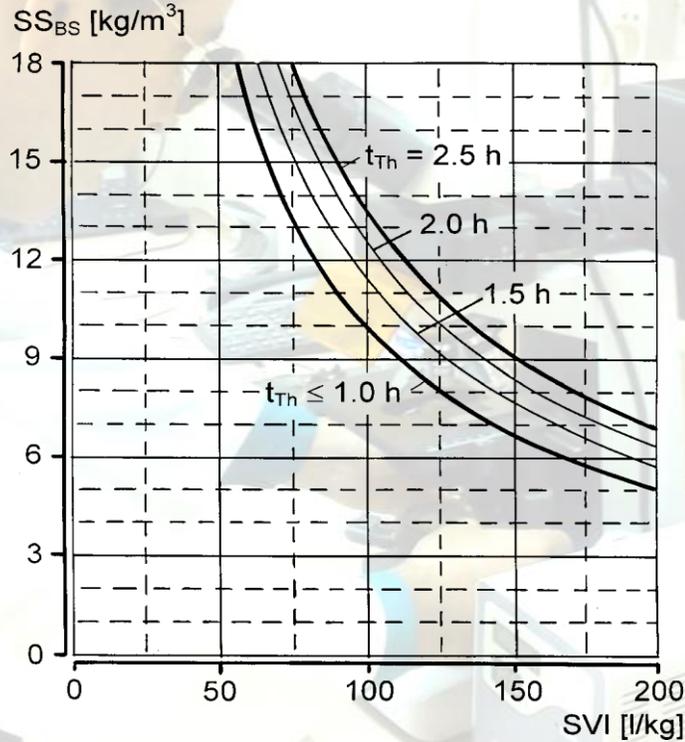


Fig. 5: Suspended solids concentration in the bottom sludge in dependence on the sludge volume index and the thickening time

تركيز المواد الصلبة العالقة في الحمأة الراجعة (SS_{RS}) الناتج من تخفيف الدورة القصيرة يمكن التعبير عنه كالتالي :

$$SS_{RS} \sim 0.7 \cdot SS_{BS} \quad \text{with scraper facilities}$$

$SS_{RS} \sim 0.5 \text{ to } 0.7 \cdot SS_{BS}$ with suction facilities

وفي أحواض الترسيب الثانوي بدون إزالة للحماة يكون $SS_{RS} \sim SS_{BS}$

1-4-4 نسبة الحماة الراجعة وتركيز المواد الصلبة العالقة الداخلة لحوض الترسيب النهائي

Return Sludge Ratio and Suspended Solids Concentration in the Influent to the Secondary Settling Tank

تتأثر ظروف التشغيل في كل من حوض التهوية وحوض الترسيب الثانوي بالتبادل من خلال تركيز المواد الصلبة العالقة للخليط المتخمر الخارج من حوض التهوية والداخل لحوض الترسيب SS_{EAT} وبين تركيز المواد الصلبة العالقة للحماة الراجعة SS_{RS} ونسبة رجوع الحماة إلى التدفق الداخل للمحطة $RS = Q_{RS}/Q$ ؛ وفي حالة الإتزان للكتلة يتم إهمال تركيز المواد الصلبة العالقة في المياه المعالجة الخارجة من حوض الترسيب الثانوي $X_{SS,EST}$ ويكون تركيز المواد الصلبة العالقة للخليط المتخمر الخارج من حوض التهوية هو :

$$SS_{AT} = \frac{RS \cdot SS_{RS}}{1 + RS} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (2-6)$$

تصميم أبعاد حوض التهوية وحوض الترسيب الثانوي سيكون على إعتبار أن أعلى تدفق للحماة الراجعة

$$Q_{RS} = 0.75 \cdot Q_{WW,h}$$

ويكون التصرف الكلي لمضخات الحماة الراجعة أكبر من ذلك للإحتياط أو ما يعادل تدفق المياه الخام الداخلة أو نسبة 100% من المياه الداخلة .

$$Q_{RS} = 1.0 \cdot Q_{WW,h}$$

وفي حالة التدفق الرأسي لحوض الترسيب الثانوي يكون نسبة الحماة الراجعة بنسبة 100% ممكنة

$$Q_{RS} = 1.0 \cdot Q_{WW,h}$$

وبالتالي يتم إختيار تصريف المضخات حتى 150% من التدفق الداخل

$$Q_{RS} = 1.5 \cdot Q_{WW,h}$$

وتكون نسبة الرجوع للتدفق الأفقي أو الرأسي لحوض الترسيب الثانوي كما في الجدول (11) .
يجب تجنب التدفق الأقل من $RS = 0.5$ حيث يجعل تركيز الحمأة الراجعة عالي جدا وينتج منه مؤشر حمأة منخفض ويحتاج زمن تركيز أو تغليظ طويل للحمأة في الحوض .

1-4-5 معدل التدفق السطحي ومعدل التحميل الحجمي السطحي للحمأة

Surface Overflow Rate and Sludge Volume Surface Loading Rate

معدل التحميل السطحي q_A يتم حسابه من معدل التحميل الحجمي السطحي للحمأة q_{SV} وحجم الحمأة المخفف DSV كالتالي من المعادلة (3-6)

$$q_A = \frac{q_{SV}}{DSV} = \frac{q_{SV}}{SS_{EAT} * DSV} \quad (m/hr) \quad (6-3)$$

وللحفاظ على تركيزات كل من $X_{SS,EST}$ و COD و P في حوض الترسيب الثانوي الذي يكون غالبا أفقي التدفق منخفضة يجب ألا يزيد معدل التحميل الحجمي السطحي للحمأة q_{SV} عن

$$q_{SV} \leq 500 \text{ l}/(m^2 \cdot h) \text{ for } X_{SS,EST} \leq 20 \text{ mg/l}$$

وللحوض الذي يكون غالبا رأسي التدفق

$$q_{SV} \leq 650 \text{ l}/(m^2 \cdot h) \text{ for } X_{SS,EST} \leq 20 \text{ mg/l}$$

ولمعرفة ما إذا كان الحوض أفقي أم رأسي التدفق يمكن تمييز ذلك عن طريق أبعاد دخول وخروج الخليط المتخمر ؛ يكون الحوض أفقي التدفق إذا كانت نسبة المسافة من مدخل الخليط المتخمر لسطح المياه (المسافة الرأسية h_{In}) إلى المسافة الأفقية من المدخل إلى المخرج في أعلى مستوى المياه (المسافة الأفقية) أقل من 3:1 ويكون الحوض غالبا رأسي التدفق إذا كانت النسبة أكبر من 1:2 ؛ وللنسب التي تقع بينهما يمكن استخدام النسب الموجودة بالجدول (11)

معدل التحميل السطحي q_A لن يزيد عن في الحوض 1.6 m/h أفقي التدفق ولا يزيد عن 2.0 m/h للحوض رأسي التدفق وللقيم الواقعة بينهما يمكن الإستعانة بالجدول (11)

Ratio ^{*)}	≥ 0.33	≥ 0.36	≥ 0.39	≥ 0.42	≥ 0.44	≥ 0.47	≥ 0.5
q _{sv} (l/(m ² . h)	≤ 500	≤ 525	≤ 550	≤ 575	≤ 600	≤ 625	≤ 650
q _A (m/h)	≤ 1.60	≤ 1.65	≤ 1.75	≤ 1.80	≤ 1.85	≤ 1.90	≤ 2.00
RS (-)	≤ 0.75	≤ 0.80	≤ 0.85	≤ 0.90	≤ 0.90	≤ 0.95	≤ 1.00

^{*)} vertical component to horizontal component e.g. 1 : 2.5 = 0.4

Table 11: Permitted values for the transition area between predominantly horizontal and predominantly vertical flow secondary settling tanks

1-4-6 مساحة سطح حوض الترسيب الثانوي Secondary settling tank surface area

$$A_{ST} = \frac{Q_{ww,h}}{q_A} \text{ m}^3 \quad (6-4)$$

وبصفة عامة في الحوض الغالب فيه التدفق الفقي يتم إضافة مساحة إضافية لمنطقة مدخل التهيج ويكون طولها تقريبا مساو لعمق الجدار اجانبي للحوض وفي الحوض رأسي التدفق تكون مساحة السطح الفعالة في الوسط بين فتحة الدخول ومستوى المياه والشكل التالي (6 و 7) يوضح شكل الحوض الطبيعي

1-4-7 أعماق حوض الترسيب settling tank depths

يوجد عدة مناطق تكون عمق حوض الترسيب وهي مناطق وظيفية هي :

منطقة المياه الرائقة h1 ومنطقة الفصل/ والراجع h2 ومنطقة التدفق الكثيف والتخزين h3 ومنطقة التخليط وإزالة الحمأة h4

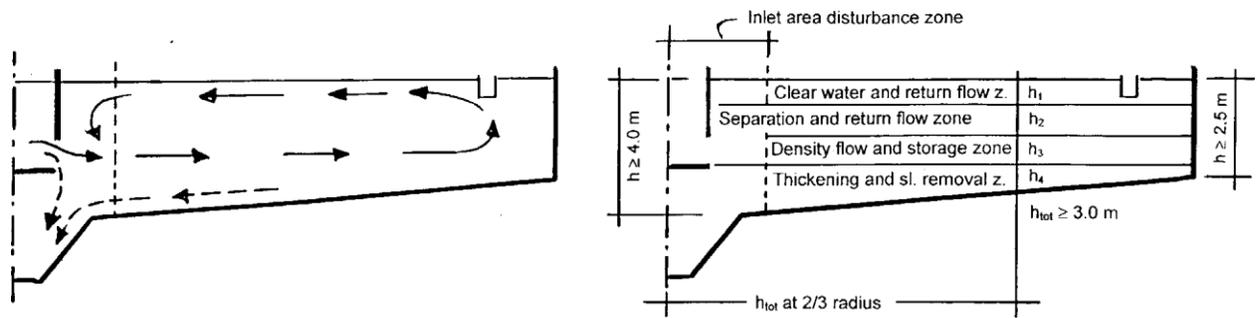


Fig. 6: Main directions of flow and functional tank zones of horizontal flow circular secondary settling tanks

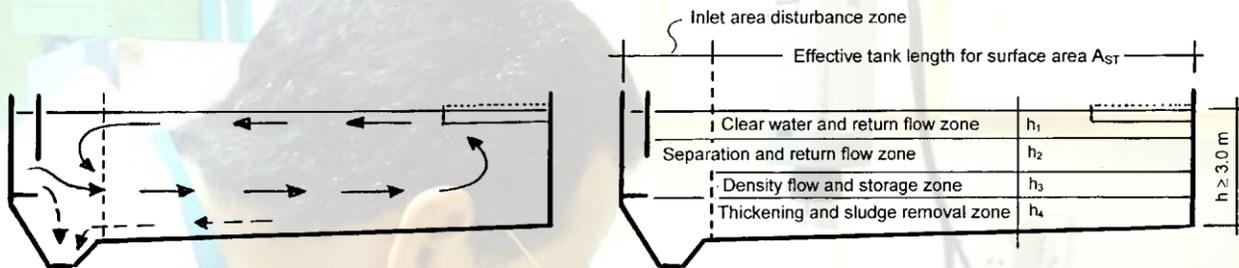


Fig. 7: Main directions of flow and functional tank zones of horizontal flow rectangular secondary settling tanks

وتقسيم المناطق لمناطق وظيفية يوضح أن الطبقة الأفقية ليست طبقة عمليات ؛ طبقة المياه الراكدة هي منطقة أمان لا يقل عمقها عن نصف متر $h_1=0.50m$ وهي هامة لتجنب تهيج الحماة بسبب الرياح وهي تقع في منطقة التدفق الراجع ويوجد مسافة فاصلة قدرها 30 cm بين منطقة الفصل h_2 وفتحة الدخول لمنع دخول الحماة العائمة في المخرج ويجب ان يكون مستوى المياه فوق المدخل بنحو 20 cm على الأقل ؛ وفوق منطقة التدفق الكثيف ومنطقة التخزين يقع منطقة الفصل وكلا المنطقتين الفصل والتدفق الكثيف والتخزين يكونان منطقة واحدة عند المدخل وهنا يدخل خليط المياه والحماة ويتوزع ويتم عملية الترويب ومن ثم تسهل عملية الترسيب ؛ وخارج منطقة المدخل وفوق منطقة التدفق الكثيف والتخزين تقع منطقة التدفق الراجع حيث يتم رجوع مياه الصرف ذات تركيز المواد الصلبة المنخفض إلى منطقة المدخل .

يتم تحديد أبعاد منطقة الفصل / التدفق الراجع بحيث يتضمن التدفق الداخل الحماة الراجعة ؛

وبالإشارة لحجم المياه الحرة يكون زمن الحجز نصف ساعة من هذه النتائج من المعادلة (5-6)

$$h_2 = \frac{0.5 * qA * (1 + RS)}{1 - \left(\frac{DSV}{1000}\right)} \text{ m} \quad (6-5)$$

خليط المياه والحماة الذي يظهر في منطقة التدفق الكثيف والتخزين يتكثف في طبقة الحماة بسبب

كثافته العالية ومن ثم يتدفق لخارج الحافة الخارجية للحوض وعندها توجد أعلى سرعات في الحوض

منطقة التدفق الكثيف والتخزين يتم تحديدها بأبعادها طبقا للتدفق في الطقس الماطر $Q_{WW,h}$ ومع زيادة إضافية في حجم الحماة قدرها $(0.3 \cdot SS_{EAT} \cdot SVI)$ بتركيز 500 l/m^3 قدره في خلال ساعة ونصف من الذي يمكن لخزان التهوية تخزينه وفي هذه اللحظة تترسب الحماة في منطقة التخليط وتكون موزعة مساحة السطح A_{ST} .

عمق منطقة التدفق الكثيف والتخزين تحسب من المعادلة (6-6) :

$$H3 = \frac{1.5 \cdot 0.30 \cdot qSV \cdot (1+RS)}{500} \text{ m} \quad (6-6)$$

الحماة المركزة (المغلظة) تتكون في منطقة تركيز وإزالة الحماة ويجب ان تكون هذه المنطقة كبيرة بدرجة كافية يكفي لحمل الحماة المتكون وتركيزاتها وبفرض توزيع كتلة الحماة على سطح حوض الترسيب يمكن حساب إرتفاع منطقة التخليط وإزالة الحماة من المعادلة (7-6)

$$h4 = \frac{SS_{EAT} \cdot qA \cdot (1+RS) \cdot tTh}{SS_{BS}} \text{ m} \quad (6-7)$$

يجب الحفاظ أيضا على العمق h_{tot} الكلي للحوض ذو التدفق الأفقي مع ميل قدره ثلثي قطر مسار التدفق بمعنى مثلا لو كان قطر الحوض 3m فيجب ألا يقل العمق الكلي عن 2.5m وفي الأحواض رأسية التدفق يمكن حساب الحجام الفرعية V_2, V_4 لمناطق الفصل والتخزين والتخليط بضرب عمق المنطقة المناسب في مساحة السطح A_{ST} والشكل (8) التالي يوضح المناطق الوظيفية والأعماق لحوض التدفق الرأسي .

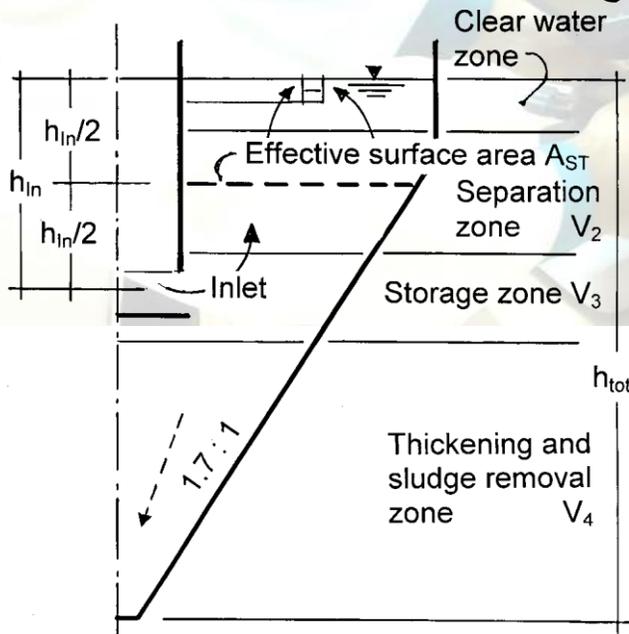


Fig. 8: Functional zones and depths of vertical flow (inverse cone) tanks

1-4-8 إختبار وإعادة حسابات حوض الترسيب الثانوي الموجود testing and recalculation of existing secondary settling tank

في حالة وجود حوض ترسيب أو في بعض الحالات الخاصة مثل إرتفاع منسوب المياه الجوفية يجب أن يتوافق معدل التحميل الحجمي للحماة مع الحوض عمق الحوض الموجود أو على القل قريب منه أو عمل إختبارات للحمل وتصميمات لتتوافق مع الحوض الموجود .

أثناء تصميم الحوض ليس من الضروري إختيار الحد الأقصى لمعدل حمل الحماة الحجمي Q_{sv} وبدلاً من ذلك يتم تخفيض قيمتها بالنسبة للحوض الموجود إلى أن يتوافق العمق المحسوب مع العمق الواقعي الموجود للحوض ؛ مع العلم أن الأحواض التي يكون عمق المياه بها أقل من 2m (الأحواض الضحلة) لا تكون ذات قيمة عملية لكي يتخذ مثل هذا الإجراء ويتم تصميم أحواض جديدة أفضل .

1-5 تصميم نظام إزالة الحماة sludge removal system design

1-5-1 تصميم الزحافات أو الكواشط scraper design

يتحدد زمن المكث بحوض الترسيب الثانوي بمعدل تدفق إزالة الحماة ومعدل تدفق الحماة الراجعة . يوجد العديد من الزحافات أو الكواشط وأجهزة نقل وإزالة الحماة المستخدمة في أحواض الترسيب ؛ في أحواض التدفق الأفقي تستخدم الزحافات أو الكواشط الطائرة .

ولتحديد الأبعاد التصميمية لمعدات إزالة الحماة يجب أولاً تحديد الأبعاد التصميمية لحوض الترسيب وحمل المواد الصلبة العالقة التي سوف تقوم الزحافات بالتعامل معها .

الجدول (12) يوضح القيم الإرشادية لتصميم الزحافات

1-5-2 معدل تدفق الحماة الناتجة من الدورة القصيرة وإتزان المواد الصلبة

ولأن معدل تدفق إزالة الحماة Q_{SR} أقل من معدل تدفق الحماة الراجعة مع زحافات الحماة ؛ فإن معدل تدفق الحماة الناتجة من الدورة القصيرة Q_{Short} يتم بين المدخل ونقطة إزالة الحماة (الواثب) وفي حالة الإزالة بالسحب يكون من المنطقة فوق منطقة التخليط .

يمكن حساب معدل تدفق الحماة الناتجة من الدورة القصيرة Q_{Short} من المعادلة (6-8)

$$Q_{Short} = Q_{RS} - Q_{SR} \text{ m}^3/\text{hr} \quad (6-8)$$

معدل تدفق الحماة الناتجة من الدورة القصيرة Q_{Short} من المعادلة السابقة ومن الخبرة تقع بين 0.4 -

$0.8 \cdot Q_{RS}$ طبقاً لمعدل تدفق الحماة الراجعة ؛ وبسبب تأثير التخفيف الناتج من تدفق الدورة القصيرة

Q_{Short} يكون تركيز المواد الصلبة العالقة للحماة الراجعة Q_{RS} أقل من تركيز المواد الصلبة العالقة لقاع

الحوض SS_{BS} في مرحلة تدفق الحمأة المزالة ؛ ويكون إتران المواد الصلبة معبرا عنه بالمعادلة (6-9)

$$Q_{RS} * SS_{RS} = (Q_{SR} * SS_{BS}) + (Q_{Short} * SS_{EAT}) \quad \text{kg/hr} \quad (6-9)$$

3-5-1 إزالة الحمأة في الأحواض الدائرية أفقية التدفق

في الأحواض الدائرية تكون فترة الإزالة هي نفسها فترة الدورة الواحدة لزحافة الكوبري

$$t_{SR} = \frac{\pi * D_{ST}}{V_{SR}} \quad \text{hr} \quad (6-10)$$

ويعطى معدل تدفق الحمأة المزالة بالزحافات أو الكواشط في الأحواض الدائرية بالمعادلة (6-13)

$$Q_{RS} = \frac{h_{SR} * D_{SR} * V_{ST} * a}{4 * f_{SR}} \quad \text{m}^3/\text{hr} \quad (6-13)$$

سرعة الكوبري V_{SR} ترتبط بمحيط الحوض ويتم إختيار عدد أزرع الكاشط (a) طبقا لقطر الحوض ومعدل الإزالة D_{SR} المستهدف أو المطلوب (المعادلة الأخيرة تم ترقيمها (6-13) لتوافق مكانها في المواصفة الأصلية بينما تم إزالة المعادلات (6-11) و (6-12) و (6-16) و (6-17).

في حالة استخدام معدات إزالة الحمأة بالسحب لا يمكن التفريق معدل تدفق إزالة الحمأة ومعدل تدفق الحمأة من الدورة القصيرة لأن قاع الحمأة بصفة عامة يتم تخفيفه مع ماء الحوض الذي تم تروييقه ؛ غالبا عند حواف الحوض .

يجب أن يكون معدل التدفق في ماسورة السحب بين 0.6 to 0.8 m/s والمسافة بين مواسير السحب لا تزيد عن 3 to 4 m ؛ ويكون سرعة الكوبري V_{SR} مثل سرعة الكاشط ويجب ضبط سعة السحب في المراحل من منتصف الحوض للخارج للحفاظ على الحمل الهيدروليكي الإضافي ليكون صغيرا

	Abbr.	Unit	Circular tanks	Rectangular tanks	
			Sludge scrapers	Sludge scrapers	Flight scrapers
Scraper or beam ht.	h_{SR}	m	0.4 - 0.6	0.4 - 0.9	0.15 - 0.30
Bridge velocity	V_{SR}	m/h	72 - 144	max. 108	36 - 108
Return velocity	V_{ret}	m/h	-	max. 324	-
Removal factor*)	f_{SR}	-	1.5	≤ 1.0	≤ 1.0

Table 12: Guidance values for the design of sludge scrapers

* عامل الإزالة هو النسبة المحسوبة من معدل تدفق الحمأة المزالة في نوبة إزالة واحدة ومعدل تدفق إزالة الحمأة الفعلي

6-1 تحقيق إتران المواد الصلبة

يتم تصميم نظام إزالة الحمأة بحيث يحقق معدل تدفق إزالة الحمأة الإتران وفقا للمعادلة (6-9) وطبقا للمعادلة التالية (6-20)

$$Q_{RS} \geq \frac{(Q_{RS} * SS_{RS}) - (Q_{Short} * SS_{EAT})}{SS_{BS}} \text{ m}^3/\text{hr} \quad (6-20)$$

ويتم تطبيق تركيز المواد الصلبة للحمأة الراجعة كما سبق لقيمة SS_{RS} هنا

الأحواض التي يكون التدفقي غالبا فيها أفقي يكون قطرها 30m-50m بينما الأحواض التي يكون قطرها أقل من 20m لابد أن يتم تصميمها على أساس أنها ستكون رأسية التدفق .

يؤثر تصميم المدخل على كفاءة فصل المواد الصلبة ويجب ان يتوزع خليط المياه والحمأة المنشطة في منطقة الدخول والتفريغ أفقيا إلى منطقة الفصل أو لمنطقة التكتيف والتخزين على التوالي بحيث تكون فتحة الدخول لأسفل للتقليل من تأثير تدفق الدورة القصيرة

وبالنسبة لأحواض التهوية يفضل أن تكون منطقة التنديف وحجز الغاز قبل الدخول لمنطقة الترسيب خصوصا في أحواض التهوية العميقة ويمكن عمل هذه المنطقة في الجزء الخاص بالدخول للحوض أو في غرف التوزيع أو الجزء الأخير من حوض التهوية حيث يفترض أن يتم إزالة الحمأة الطافية هناك ؛ كما يفترض دعم عملية تكوين الندف من خلال معدل تدفق متوسط في منطقة الدخول لحوض التهوية بمعدل 40cm/s خلال زمن 3-5 دقائق حتى دخول الخليط للحوض ؛ ولحوض الترسيب الدائري تكون السرعة المثالية حتى 10cm/s وللأحواض المستطيلة 0.25-0.31cm/s بسبب أن معدل التحميل السطحي محدود .

حجوم الدخول للأحواض الدائرية ومناطق التوزيع أو مجاري التوزيع للأحواض المستطيلة يجب أن يتم تصميمها بحيث يكون زمن الحجز دقيقة واحدة في الطقس الماطر (موسم الشتاء) بما في ذلك الحمأة الراجعة . $(Q_{WW,h} \cdot (1+RV))$.

يجب أن يكون تصميم المخرج مصمم هيدروليكيًا بحيث يحقق الفصل الجيد بين المياه والحمأة ولذلك يتم تثبيت inboard launders بحيث تكون على مسافة كافية من جدار الحوض بحيث يكون حدود الفيضان من خلالها محدود بأقصى تدفق $10 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})$ ومع المغذي على كلا الجانبين في حدود $6 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{h})$ ومع مؤشرات حجم حمأة أعلى من 150 l/kg وهذه القيمة ستخفض بعد ذلك ؛ تكون كاشطة الزبد scum board على مسافة 30 cm من launders لتجنب تدفق الحمأة الطافية والعمق 20cm .

لا يحتاج حوض الترسيب الثانوي إلى المخروط hoppers كبير إذا لم يكن هناك حاجة للمزيد من التغليف للحماة ويتم تصميمها بحيث لا يتوقع ركون للحماة ويجب أن يكون جدارها أملس وبميل بمقدار 1.7-1.00 للأحواض الطولية .

أحواض الترسيب الرأسية قد تكون دائرية أو مستطيلة وهي عادة أعمق من الأفقية وتكون النسبة بين المكون الرأسى hin والأفقي إلى الجدار الخارجى من الحوض عند أعلى مستوى المياه يجب ان يكون كلما أمكن أكبر من 1:2 حتى تتمكن بطانية أو غطاء الحماة من التكوين .

يعتبر حوض دوترتموند المخروطي أحد أهم تصميمات الأحواض رأسية التدفق hopper shaped tank (Dortmund tank) ؛ والشكل المخروطي يسمح بتدفق علوي جيد التوزيع ويسمح بتكوين بطانية حماة ثابتة وفي هذا النوع يكون على الأقل 75% من عمق الحوض بشكل مخروطي ويكون ميل المخروط 1.7-1.00 عملي جدا بينما الميل المفلطح الأقل من 1.00-1.4 يكون ممكن فقط إذا كان تدريجي وعادة يمتد ميل المخروط لمنطقة حجم التغليف بحيث لا نحتاج لنظام إزالة للحماة .

وفي الأحواض المفلطحة أو مستوي يجب ان يرسل الكاشط الحماة لنقطة الإزالة .

يتم تصميم الأحواض المستطيلة رأسية التدفق كأحواض طولية بقاع مستوي ويتم إزالة الحماة بنظام السحب أو الشفط من خلال الكوبري والذي يتحرك طوليا ؛ وفي الأحواض الصغيرة حتى 25m طول يتم استخدام أنابيب شفط .

1-7 تقدير إنتاجية الحماة والأكسيجين المستهلك في عملية إزالة الكربون في ضوء الأكسيجين الكيميائي المستهلك COD

لحسابات تصميم حوض التهوية طبقا لتركيز الأكسيجين الكيميائي المستهلك أو حمل الأكسيجين الكيميائي نحتاج إلى :

*تركيز الأكسيجين الكيميائي المستهلك COD والذي يرمز له $C_{COD,IAT}$

*تركيز الأكسيجين الكيميائي المستهلك للرشح COD خلال أغشية ترشيح $0.45 \mu m$ والذي يرمز له

$S_{COD,IAT}$

* تركيز الأكسيجين الكيميائي المستهلك للمواد الصلبة المرشحة والتي تمر من الغشاء COD والذي يرمز له

$X_{COD,IAT}$

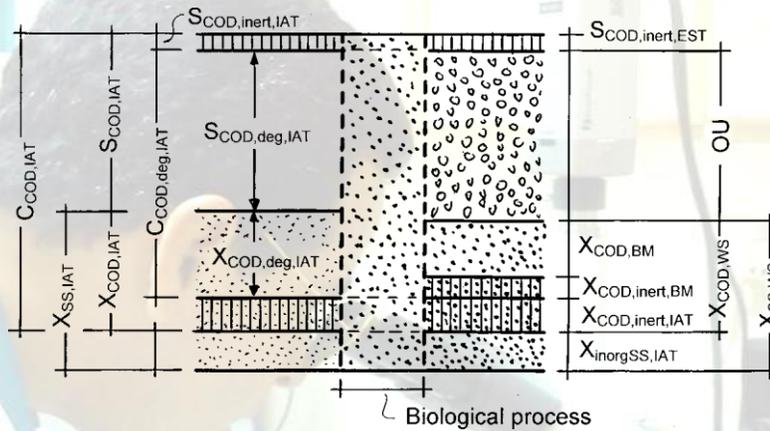
*تركيز الأكسجين الكيميائي المستهلك للمواد الصلبة التي يحجزها الغشاء COD خلال أغشية ترشيح 0.45

μm والذي يرمز له $X_{SS,IAT}$

*المكونات الغير عضوية $X_{inorgSS,IAT}$ للمواد الصلبة المرشحة ($X_{SS,IAT}$)

الأحمال المصاحبة يمكن تقديرها كما سبق مع BOD

الشكل التالي (A1) يبين التغير في الأكسجين الكيميائي المستهلك والمواد الصلبة المرشحة مع عملية المعالجة البيولوجية



A1 Change of COD and the filterable solids with biological treatment (diagram of principle)

1-7-1 إيزان الأكسجين الكيميائي المستهلك COD balance

يقسم الأكسجين الكيميائي المستهلك $C_{COD,IAT}$ عند مدخل حوض التهوية (للمياه الخام أو المياه القادمة من حوض الترسيب الابتدائي لعينة متجانسة) إلى ذائب وحبيبات (غير ذائب) ويجب أن ننتبه إلى أن كل التركيزات ترجع إلى المياه الخام المتدفقة للمحطة وهذا يطبق أيضا على $X_{COD,SP}$, OV وغيره كما في الشكل السابق .

$$C_{COD,IAT} = S_{COD,IAT} + X_{COD,IAT} \text{ mg/L} \quad (A1)$$

كلا من القسمين يحتوي على مواد قابلة للتحلل (الأكسدة) البيولوجي biodegradable ومواد خاملة inert

$$C_{COD,IAT} = S_{COD,deg,IAT} + S_{COD,inert,IAT} + X_{CODdeg,IAT} + X_{CODinert,IAT} \text{ mg/L} \quad (A2)$$

حيث $S_{COD,deg,IAT}$ تركيز الأكسجين الذائب القابل للتحلل البيولوجي عند مدخل حوض التهوية و $S_{COD,inert,IAT}$ تركيز الأكسجين الذائب الخامل عند مدخل حوض التهوية و $X_{CODdeg,IAT}$ تركيز

الأكسيجين للجسيمات القابل للتحلل البيولوجي عند مدخل حوض التهوية و $X_{COD,inert,IAT}$ تركيز الأكسيجين الخامل للجسيمات عند مدخل حوض التهوية .

الجزء الخامل الذائب في مدخل حوض التهوية يساوي الجزء الذائب في المياه المعالجة $C_{COD,inert,EST}$

$$S_{COD,inert,IAT} = C_{COD,inert,EST} \quad (A3)$$

يقدر الجزء الخامل الذائب بحوالي $0.05 - 0.1 C_{COD,IAT}$ وفي حالة عدم القيام بقياس عملي له فيفضل لمياه الصرف الصحي البلدي أو المنزلي حساب

$$S_{COD,inert,IAT} = 0.05 \cdot C_{COD,IAT}$$

الجزء الخامل من الأكسيجين الكيميائي المستهلك $X_{COD,inert, IAT}$ يمكن تقديره أيضا كجزء من الأكسيجين الكيميائي المستهلك الحبيبي $X_{COD, IAT}$.

$$X_{COD,inert, IAT} = A \cdot X_{COD, IAT} = A \cdot (C_{COD, IAT} - S_{COD,IAT}) \text{ mg/L} \quad (A4)$$

طبقا لنوع مياه الصرف وزمن المكث في حوض الترسيب الابتدائي فإن (A) تقع بين 0.20-0.35 وتقدر قيمتها لمياه الصرف الصحي المنزلي $A=0.25$

يمكن الحصول على تركيز COD ($C_{COD,deg,IAT}$) كالتالي من المعادلة (A5) :

$$C_{COD,deg,IAT} = C_{COD, IAT} - S_{COD,inert,EST} - X_{COD,inert, IAT} \text{ mg/L} \quad (A5)$$

في حالة إضافة مصدر خارجي من الكربون لتحسين النترية العكسية فإنه يجب زيادة $S_{COD,deg,IAT}$ بقيمة

$$S_{COD,Ext} \leq 10 \text{ mg/l}$$

تتكون المواد الصلبة المرشحة للمياه الداخلة (المواد الصلبة العالقة في المياه الخام أو المياه

القادمة من حوض الترسيب الابتدائي) ويرمز لها ($X_{SS,IAT}$) من جزء عضوي وجزء غير عضوي

ويكون الجزء الغير عضوي ليس جزء من $C_{COD,IAT}$

$$X_{SS,IAT} = X_{orgSS,IAT} + X_{inorgSS,IAT} \text{ mg/L}$$

أو

$$X_{inorgSS,IAT} = B \cdot X_{SS,IAT} \text{ mg/L} \quad (A6)$$

قيمة (B) المثالية تكون بين **0.2-0.3** أو مواد عضوية ؛ وإذا لم يتم تقديرها عمليا فيمكن إعتبرها لمياه الصرف الخام **B = 0.3** وللخارج من حوض الترسيب الابتدائي

B = 0.2 ؛ وبعد العديد من التجارب والقياسات وجد أن المواد الصلبة العضوية الجافة في المياه الداخلة الخام تقدر **1.45 g COD/g org SS** ومنها يمكن بناء هذه العلاقة التالية (A7)

$$X_{COD,IAT} = C_{COD,IAT} - S_{COD,IAT} = X_{SS,IAT} * 1.45 * (1-B) \text{ mg/L} \quad (A7)$$

وإذا كان تركيز الأوكسيجين الذائب في المياه الخام التي تم ترشيحها خلال مرشح 0.45μ ($S_{COD,IAT}$) غير معروف وتم قياس المواد الصلبة العالقة في المياه الخام عند مدخل حوض التهوية ($X_{SS,IAT}$) فإنه يمكن تقدير $S_{COD,IAT}$ من المعادلة

ونتيجة عملية المعالجة البيولوجية يكون تركيز COD في المنتج الثانوي (الذي يتكون من COD الخامل الذائب و COD الذائب الغير قابل للتحلل البيولوجي و COD للمواد الصلبة المرشحة filterable solids) والحماة الزائدة المقاسة كأوكسيجين كيميائي مستهلك COD ($X_{COD,SP}$) كلها متبقية .

الفرق يتم تمثيله بالأوكسيجين المستهلك في التنفس OV ؛ وإذا تم إهمال تركيز الجزء الغير قابل للتحلل البيولوجي والجزء الذائب القابل للتحلل في المياه المعالجة ثانويا وإعتبار المواد الصلبة العالقة فيها غير ذات قيمة يمكن الحصول على المعادلة التالية (A8)

$$C_{COD,IAT} = S_{COD,inert,EST} + X_{COD,SP} + OV \text{ mg/L} \quad (A8)$$

وفي حالة العمر الطويل للحماة يمكن إفتراض تحويل الحبيبات القابلة للتحلل البيولوجي ($X_{COD,deg,IAT}$) كما يحدث للمواد الذائبة القابلة للتحلل ($S_{COD,deg,IAT}$). ويتم إهمال الزيادة الطفيفة COD الخامل والمواد الصلبة الغير عضوية نتيجة التحلل البيولوجي .

2-7-1 حساب إنتاجية الحماة Sludge production calculations

الحماة الناتجة كأوكسيجين كيميائي ($X_{COD,SP}$) COD, مستهلك تتكون من جسيمات COD الداخلة مع المياه الخام وتركيز الأوكسيجين الكيميائي المستهلك للكتلة الحيوية biomass الكتلة الحيوية ($X_{COD,BM}$) المتكونة والمتبقية من التحلل الذاتي للكتلة الحيوية

$$X_{COD,SP} = X_{COD,inert,IAT} + X_{COD,BM} + X_{COD,inert,BM} \text{ mg/L} \quad (A9)$$

لتكوين الحمأة والتحلل الذاتي endogenous decay للككتلة الحيوية يتم تطبيق العلاقات التالية
(A10 , A11,A12)

$$X_{\text{CODBM}} = (C_{\text{COD,deg,IAT}} * Y) - (X_{\text{CODBM}} * t_{\text{ss}} * b * F_T) \text{ mg/L} \quad (\text{A10})$$

$$X_{\text{CODBM}} = C_{\text{COD,deg,IAT}} * Y * \frac{1}{1 + b * t_{\text{ss}} * F_T} \text{ mg/L} \quad (\text{A11})$$

$$F_T = 1.072^{(T-15)} \quad (\text{A12})$$

عامل الإنتاجية $Y = 0.67 \text{ g COD/g COD}_{\text{deg}}$ ومعامل التحلل $b = 0.17 \text{ d}^{-1}$ عند 15°C في عملية الحمأة النشطة كما أن نسبة المواد الصلبة الخاملة المتبقية من عملية التحلل تمثل 20% من الكتلة الحيوية المتحللة ومن ثم يكون :

$$X_{\text{COD,inert,BM}} = 0.2 * X_{\text{COD,BM}} * t_{\text{ss}} * b * F_T \text{ mg/L} \quad (\text{A13})$$

وتكون كتلة المواد الصلبة $(X_{\text{COD,SP}})$ COD 80% مواد عضوية ؛ وإذا أعتمدنا نسبة قدرها 1.45 g COD/g SS وأخذنا في الإعتبار المواد المرشحة الغير عضوية للمياه الداخلة لحوض التهوية يمكن الحصول على إنتاجية الحمأة من الكربون من المعادلة (A14) بناء على COD كالتالي:

$$SP_{\text{dc}} = Q_d * \left(\frac{X_{\text{COD}}}{0.8 * 1.45} + X_{\text{inorg IAT}} \right) / 1000 \text{ kg SS/d} \quad (\text{A14})$$

$$SP_{dc} = Q_d * \left(\frac{XCOD}{0.8 * 1.45} + B * X_{SS\text{IAT}} \right) / 1000 \text{ kg SS/d} \quad (\text{A15})$$

وحيث أن لمياه الصرف الخام $B = 0.3$ تكون المعادلة :

$$SP_{dc} = Q_d * \left(\frac{XCOD}{0.8 * 1.45} + 0.3 * X_{SS\text{IAT}} \right) / 1000 \text{ kg SS/d} \quad (\text{A15})$$

1-7-3 حساب الأوكسيجين الممتص oxygen uptake calculations

بترتيب المعادلة (A8) نحصل على معدل إمتصاص الأوكسيجين ملجم/ل

$$OU = C_{\text{COD,IAT}} - S_{\text{COD,inert,EST}} - X_{\text{COD,SP}} \quad \text{mg/L} \quad (\text{A16})$$

$$OU_{d,c} = \frac{Q_d * (C_{\text{COD,IAT}} - S_{\text{COD,inert,EST}} - X_{\text{COD,SP}})}{1000} \quad \text{mg/L} \quad (\text{A17})$$

الفصل الثاني

حسابات المعايير التصميمية للعملية البيولوجية والتشغيل



Almedina alkahlel STP second phase

Biological Process Design calculations and operation

2-1 حسابات العمليات

2-1-1 المعايير التصميمية

صممت المحطة لمعالجة $200000 \text{ m}^3/\text{d}$ في اليوم للتدفق اليومي الطبيعي بمعدل تدفق $8333 \text{ m}^3/\text{hr}$ وتصل السعة التشغيلية لها في ساعة الذروة الى $300000 \text{ m}^3/\text{d}$ متر مكعب في اليوم بمعدل $12500 \text{ m}^3/\text{hr}$ متر مكعب في الساعة وبتركيز أكسيجين حيوي ممتص 350 ملجم/ل بإجمالي حمل عضوي 70000 كجم/يوم عند متوسط تدفق يومي $200000 \text{ m}^3/\text{d}$ ويمكن اجمال المواصفات التصميمية للمحطة في كالتالي:

$$* \text{متوسط التصرف اليومي التصميمي } Q_{ADF} = 200000 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$* \text{أقصى تصرف تصميمي } Q_{max} = 200000 \text{ m}^3 \times 1.5 = 300000 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$* \text{أقل تصرف } Q_{min} = 200000 \text{ m}^3/\text{d} \times 0.5 = 100000 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$* \text{التصرف التصميمي النهائي } Q_{ultimate} = 200000 \text{ m}^3/\text{d} \times 2.5 = 500000 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$* \text{التصرف الفعلي الحالي للمرحلة الثانية } Q_{ADF,actual} = 160000 \text{ m}^3/\text{d}$$

القيمة	المعايير
200000 m ³ /d	متوسط التدفق اليومي ADF (Average daily flow):
8333m ³ /hr	متوسط التدفق للساعة Average hourly flow
300000 m ³ /d	أعلى معدل تدفق يومي Daily Peak flow
12500 m ³ /hr	أعلى معدل تدفق للساعة Hourly peak flow
70000 kg BOD/d 350 mg/l	تركيز الأكسجين الحيوي الممتص BOD:
12000 kg N-NTK/d 60 mg/l	تركيز نيتروجين كداهل الكلي N-NTK:
90000 kg SS/d 450 mg/l	المواد الصلبة العالقة الكلية TSS
27 °C	أقل درجة حرارة للمياه للتصميم Minimum design water temp
32 °C	أعلى درجة حرارة للمياه للتصميم Maximum design water temp
1000000 Population Equivalent	المكافئ التعدادي P.E. (at 60 g BOD per capita)
5	نسبة الأكسجين الحيوي/ نيتروجين BOD/N ratio:
1,28	نسبة المواد الصلبة العالقة الكلية /الأكسجين الحيوي TSS/BOD ratio:
1,50	نسبة أعلى تدفق / متوسط التدفق Peak Flow/Average flow:

ويمكن تلخيص مواصفات المنتج النهائي بعد المعالجة الثلاثية والتعقيم بالأشعة فوق البنفسجية بالجدول التالي

المتوسط (عينة مركبة خلال 24 ساعة)	الحد الأقصى للتركيز	المعايير
5 mg/l	<10 mg/l	الأوكسيجين الحيوي BOD الممتص
5mg/l	<10 mg/l	المواد الصلبة العالقة الكلية TSS
	<12 mg/l	النيتروجين الكلي N-Tot
	<23 MPN/100ml (30 days geometric mean)	بكتريا القولون Fecal Coliform الكلية
	50 °C	أعلى درجة حرارة للجو

ومواصفات المياه المعالجة ثنائيا كالتالي

الحدود القصوى	المعايير
< 20 mg/l	الأوكسيجين الحيوي BOD الممتص
< 20 mg/l	المواد الصلبة العالقة الكلية TSS
< 15 mg/l	النيتروجين الكلي N-Tot

2-1-2 تصميم مواصفات المياه الداخلة design influent water quality

أثناء عملية تركيز (تغليظ) الحمأة thickening ونزح المياه dewatering منها ومن عملية الغسيل العكسي للمرشحات ينتج حمل للمواد الصلبة يتم إعادته لمدخل المحطة ؛ هذا الحمل يزيد من الحمل الكلي الذي سوف يدخل للمعالجة بحوض التهوية ويتوقف هذا الحمل على الطريقة المستخدمة لتركيز الحمأة ونزح المياه منها ؛ وحيث أنه قد وقع الخيار على نظام تغليظ الحمأة بالجاذبية في حوض تجميع الحمأة thickener (إلا أن المصمم أفترض تركيز 1% للحمأة المركزة في حوض تجميع الحمأة على عكس الشائع في هذه الأنظمة والتي تصل تركيزات الحمأة بها 3%-2%) ونزح المياه بطريقة الطرد المركزي (الديكانتر) .

فإن حجم المياه المتدفقه لشبكة تصريف المحطة والتي تعاد للمصافي الضيقة ليعاد معالجتها والحمل الناتج من العمليات الثلاثة سيكون كالتالي :

$$\text{Recycled drain water m}^3/\text{d} = \text{supernatant flow (thickener)} + \text{Centrate flow (decanter)} + \text{backwash flow (filters)}$$

$$\text{Recycled drain water m}^3/\text{d} = 1200 \text{ m}^3/\text{d} + 6605 \text{ m}^3/\text{d} + 1382 \text{ m}^3/\text{d} = \mathbf{9187 \text{ m}^3/\text{d}}$$

وسوف نفصل لاحقا كيف تم حساب هذه التدفقات كل في موضعه .

9187 m ³ /d	حجم المياه العكرة الناتجة من عمليات معالجة الحمأة	
Ca 833 kg/d	Ca 100mg/l	تركيز الأكسجين الحيوي الممتص BOD
Ca 167 kg/d	Ca 20mg/l	تركيز نيتروجين كلداهل الكلي TNK

وبالتالي ستكون مواصفات المياه الداخلة للمعالجة بعد إضافة الأحمال كالتالي :

القيمة	المعايير
209187 m ³ /d	متوسط التدفق اليومي ADF (Average daily flow):
8716 m ³ /d	متوسط التدفق للساعة Average hourly flow
309187 m ³ /d	أعلى معدل تدفق يومي

	Daily Peak flow
12883 m ³ /d	أعلى معدل تدفق للساعة Hourly peak flow
72786 kg BOD/d	الحمل العضوي اليومي عند متوسط التدفق اليومي
12757 kg N-NTK/d 60 mg/l	تركيز نيتروجين كداهل الكلي عند متوسط التدفق اليومي N-NTK:
93250 kg SS/d 350 mg/l	المواد الصلبة العالقة الكلية عند متوسط التدفق اليومي TSS
27 °C	أقل درجة حرارة للمياه للتصميم Minimum design water temp
32 °C	أعلى درجة حرارة للمياه للتصميم Maximum design water temp
1000000 Population Equivalent	المكافئ التعدادي P.E. (at 60 g BOD per capita)
5.85	نسبة الأكسجين الحيوي/ نيتروجين BOD/N ratio:
1,29	نسبة المواد الصلبة العالقة الكلية /الأكسجين الحيوي TSS/BOD ratio:
1,50	نسبة تدفق الذروة/ متوسط التدفق Peak Flow/Average flow:

بعد الأخذ بالإعتبار مياه التصريف لمراحل المعالجة يكون متوسط تدفق يومي 209217 m³/d بمعدل تدفق 12883 m³/hr وتصل القدرة التشغيلية لها في ساعة الذروة 309187 m³/d بمعدل 8720 m³/hr

وبتركيز أكسجين حيوي ممتص 360 ملجم/ل بإجمالي حمل عضوي 75307 kgBOD/d عند متوسط التدفق اليومي بعد إضافة فاقد المياه المعادة من وحدات معالجة الحمأة والغسيل العكسي وحملهم العضوي .

2-1-3 تصميم مواصفات المياه المعالجة design effluent water quality

لكي نحافظ على معامل كبير من الأمان تم تصميم خواص مياه الصرف المعالجة الخارجة من النظام البيولوجي أقل من المفترض الحصول عليه حتى يتمكن التصميم من الحصول لأعلى كفاءة أثناء التشغيل للحصول على نتائج جيدة جدا كالتالي :

المتوسط	المعايير
8 mg/l	الأكسجين الحيوي الممتص BOD5
15 mg/l	المواد الصلبة العالقة الكلية TSS
12 mg/l	النيتروجين الكلي N-Tot
8 mg/l	نيتروجين النترات N-NO ₃

2-2 المدخل والمصافي الميكانيكية الاوتوماتيكية

(المعالجة الأولية بمحطة معالجة مياه الصرف الصحي بالمدينة الخليل المرحلة الثانية)

2-2-1 مدخل المحطة

يتم تجميع المياه من المدينة المنورة وتصل بالجاذبية لمدخل المحطة المزود بالمصافي الواسعة القضبانية coarse bar screen ثم يتم توزيعها على المرحلة الأولى والثانية وهي ضمن نطاق العقد الخاص بالمرحلة الأولى .

2-2-1 (أ) المصافي الميكانيكية الضيقة fine screen

يوجد 6 قنوات مركب عليها 6 مصافي منها 4 مصافي ذاتية الحركة وعدد 2 يدوية الفراغ بين القضبان 5mm وعدد القضبان 200 لكل مصفاة والطول الفعال 1.00 متر ومساحة السطح الفعالة 0.64 m^2 عند متوسط التدفق اليومي و 0.97 m^2 عند تدفق الذروة وعرضها 2m وارتفاعها 2m والسرعة بين أقصاب المصافي 0.9m/s وزاوية الميل 60 درجة وعمق المياه أمام المصافي 0.55m عند متوسط التدفق اليومي و 0.84m عند تدفق الذروة والسرعة في قنوات المصافي 0.53m/s عند متوسط التدفق و 0.52m/s يفصل بين المصافي بوابات لعزلها عن بعضها لأغراض الصيانة .

بالنسبة لسير المصافي والمكبس يوجد 2 مكبس يستوعب المواد التي تحجزها المصافي لكل 2 مصفاة مكبس وعدد 1 سير ينقلها لحاوية خاصة سعة $10 \text{ m}^3/\text{hr}$ ؛ وعادة تكون المواد المصفاة عبارة عن 10%-20% مواد صلبة تتراوح كثافتها بين $(600-1100) \text{ kg/m}^3$ وكمية المواد التي يتم تصفيتها $4 \text{ m}^3/\text{hr}$ (تتراوح الكمية بين $37.5-225 \text{ m}^3 / 10^6 \text{ m}^3$ من تدفق المياه الخام وطبقا لمرجع syed R. qasim وتقدر الكمية التي يتم تصفيتها وحجزها بالمصافي بين $3.5-80 \text{ m}^3 / 10^6 \text{ m}^3$ من التدفق اليومي للمياه الخام)



المصافي الميكانيكية الالية الضيقة

2-2-2-2 (ب) أحواض ازالة الحصى والرمال والزيوت والشحوم

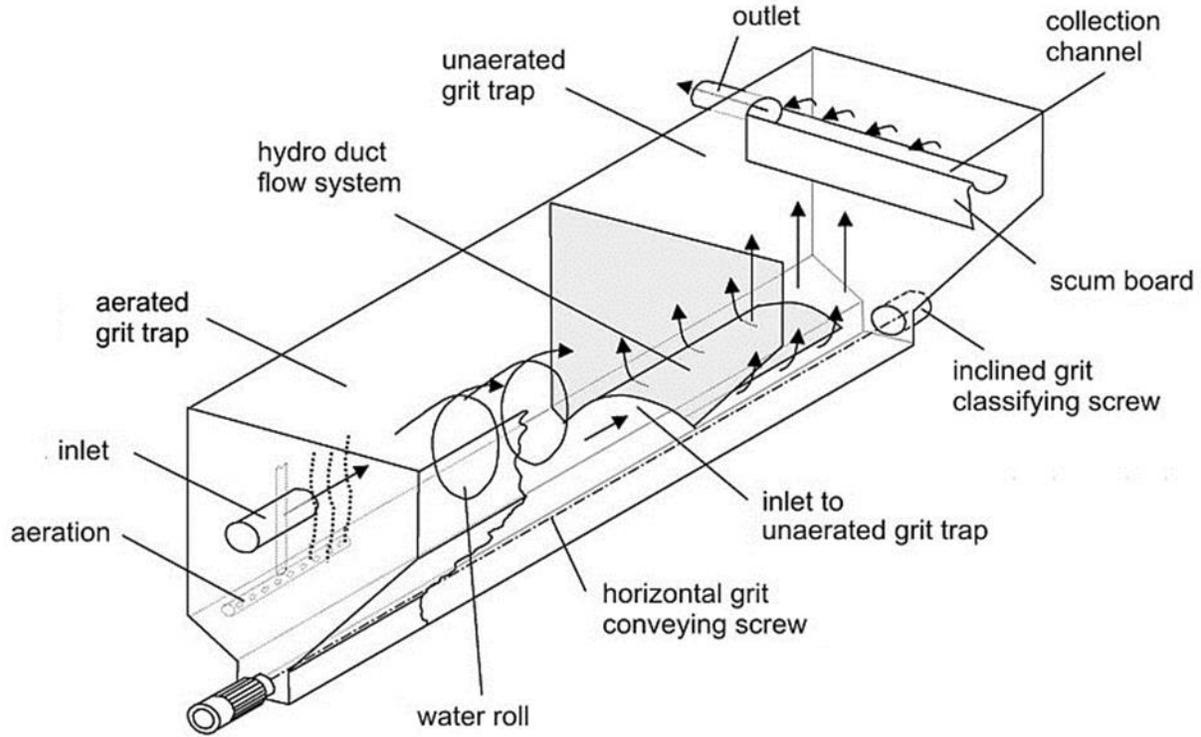
بعد خروج المياه من المصافي تدخل الى غرفة ازالة الرمال والزيوت والشحوم وهي غرفة يتم تهويتها بواسطة نوافخ هواء حيث يدخل مياه الصرف من طرف الغرفة أو الحوض الى الطرف الآخر بحيث يتم ضخ الهواء من طرف واحد فقط للغرفة حيث يتدفق المياه في مسار حلزوني من مدخل الغرفة الى مخرجها بفعل ضغط الهواء .



وحدة إزالة الرمال وغرفة إزالة الزيوت والشحوم

الهدف من عملية التهوية هو الحفاظ على المواد العضوية عالقة في المياه دون ترسيب والسماح فقط للرمال بالترسيب وفي نفس الوقت السماح للزيوت والشحوم والدهون أن تبقى طافية على سطح المياه .

ولزيادة كفاءة عملية فصل الزيوت والشحوم والدهون يوجد جدار في منتصف الغرفة به فتحات لتوفير منطقة هادئة ليس بها تهيج تطفو بها الزيوت والشحوم على سطح المياه بينما تستمر المياه بالتدفق في مسار حلزوني بفعل ضخ الهواء في الغرفة



يتحرك أعلى كل غرفة كوبري مزود بنافخ هواء وكاشط يعمل نافخ الهواء على رفع خليط المياه و الرمال الى أعلى حيث يفرغ الخليط في مجرى مائل بطول الغرفة حيث يتم تفرغ الخليط في عازل الرمال sand classifier حيث يتم فصل الرمال عن المياه بواسطة سير حلزوني والذي يرفع الرمال الى أعلى لتصب في صندوق جمع الرمال بينما تتدفع المياه أسفل عازل الرمال ؛ بينما يقوم الكاشط بدفع الزيوت والشحوم والمواد الطافية الى صندوق تجميع الزيوت والشحوم حيث يتم تخزينها ؛ صندوق تجميع الزيوت مزود بحاجز يسمح بمرور المياه مره أخرى لمدخل المحطة بينما يحجز المخلفات المحتوية على الزيوت والشحوم والدهون لحين نقلها والتخلص منها .



زمن الحجز الهيدروليكي للأحواض 20min. بالنسبة لغرفة الرمال والحصى يوجد أربعة أحواض عمقها 3.5m عرضها 3.35m وطولها 50m حجمها 521 m^3 ؛ أما غرفة الشحوم وهي 4 غرف عرضها الغرفة 1.68 m وطولها 50 m

معدل التهوية بالأحواض $1.5 \text{ m}^3 \text{ air/m}^3 \cdot \text{hr}$ عن طريق 3 نوافخ هواء (2+1) تصرف النافخ 1565 m^3/hr عند 500 mbar

2-2-2-2 (ج) نظام تجميع الرمال والحصى وعازل الرمال sand collection & sand classifier

يوجد كوبري طوله 10m لكل حوض ويوجد 2 عازل رمال بواقع 1 عازل رمال لكل 2 غرفة إزالة رمال سعة الواحد $200 \text{ m}^3/\text{hr}$ وسعة السير الحلزوني 2 m^3 من الرمال ويوجد عدد 2 حاوية رمال بسعة 6 m^3 تم تزويد وحدة إزالة الرمال بنوافخ هواء بواقع نافخ واحد لكل حوض بالإضافة لنافخ احتياطي وحيث ان أقل كمية هواء تلزم للعملية هي 1 متر مكعب من الهواء لكل متر مكعب من حجم الغرفة فقد تم تزويد الوحدة بالنوافخ الثلاثة سعة النافخ 300 متر مكعب مكعب /ساعة .

وكما أسلفنا يتم رفع الرمال المترسبة بنظام ضغط الهواء الذي يتميز بعدم وجود معدات ميكانيكية أسفل الحوض متحركة وبالتالي لا يوجد أعطال ميكانيكية مزعجة تؤثر على سير العمل ثم الى قناة بطول غرفة ازالة الرمال والزيوت والشحوم ومنه بالجاذبية الى فاصل الرمال حيث يتم فرز وفصل الرمال وسحبها لأعلى مع المواد العضوية التي يمكن ان تتواجد مع الرمال بينما تعود المياه لمدخل المحطة مرة أخرى .

كمية الرمال تتراوح بين $2-7\text{m}^3/10^5$ inhabitants لكل فرد وتم تصميم محطة المدينة المرحلة الثانية على اساس تعداد سكاني قدره 1000000 (مليون) نسمة بمعدل $6.58\text{ m}^3/10^5$ inhabitants فإن كمية الرمال المتوقعة يوميا ستكون $13.16\text{ m}^3/\text{d}$

بفرض أن تركيز الشحوم $100\text{mg}/\text{l}$ وأن كفاءة مصيدة الشحوم 20% (أقل كفاءة) يكون تركيز الشحوم $20\text{mg}/\text{l}$ وكثافته $0.9\text{kg}/\text{L}$ يكون تركيز الزيوت والشحوم التي يتم عزلها $4.5\text{m}^3/\text{d}$



فاصل الرمال

تأتي الزيوت والشحوم للمحطة مختلطة مع مياه الصرف من مصادر مختلفة مثل المطاعم والبيوت ومغاسل السيارات والملابس وغيرها ويكون جزء منها حر غير ممزوج بالمياه وجزء في صورة غروية ممزوج جزئياً بالمياه وهذا الجزء تحديداً لا يمكن فصله بواسطة نظام فصل الزيوت والشحوم حيث لا يستطيع كاشط الزيوت والشحوم من كشطه ؛ تستطيع مصيدة الشحوم والزيوت من إزالة 12 ملجم/ل وباعتبار ان كثافة الزيوت والشحوم 0.9 كجم/متر مكعب فإن كمية الزيوت التي يمكن لمصيدة الزيوت والشحوم حجزها وإزالتها عند متوسط تدفق يومي $200000 \text{ m}^3/\text{d}$ هي 2667 لتر لليوم الواحد ؛ تم تزويد المدخل بعدد 2 خزان للشحوم والزيوت بسعة قدرها 74 متر مكعب بمساحة اجمالية 147 متر مكعب تكفي 55 يوم تشغيل عند متوسط $200000 \text{ m}^3/\text{d}$.

نظراً لأهمية قياس معدل التدفق في العمليات الحسابية اللازمة لتشغيل المحطة تم تزويد المدخل بعدد قياس التدفق الذي يعمل بالموجات فوق الصوتية لقياس معدل تدفق المياه بعد خروجها من المدخل متجهة الى حوض الإنتقاء .

2-3 الأحواض اللاهوائية Anaerobic tanks

1-3-2 حوض الانتقاء selector tank

الهدف من حوض الإنتقاء التحكم في نمو وتكاثر البكتيريا الخيطية filamentous bacteria (لأن البكتيريا الخيطية تسبب مشاكل تضخم الحمأة والرغوة) عن طريق تعريضها لحمل عالي في الحوض أثناء تدفق الحمأة الراجعة الغنية ببكتيريا تكوين الندف floc forming bacteria التي تنافس الخيطيات على الغذاء وتترك لها كمية غذاء قليلة وهذا التنافس على الغذاء يسبب موت البكتيريا الخيطية ويوقف تكاثرها ؛ وقد تم إختيار نسبة $F/M = 10 \text{ kgBOD/kg MLSS.d}$ والتي تناظر حجم قدره 1950 m^3 وتم تقسيم حوض الإنتقاء إلى ثلاث أجزاء الأول عبارة عن غرفة توزيع 340 m^3 بين حوضي التهوية بالإضافة

لجزئين يقع كل جزء منهما في مقدمة كل حوض بسعة تصل 830 m^3 ليكون الحجم الإجمالي هو 2000 m^3 للحوضين؛ وبالتالي يكون حوض الإنتقاء لكل حوض عبارة عن نصف غرفة التوزيع والذي يعادل 170 m^3 مضافا إليه 830 m^3 لكل حوض تهوية أي 1000 m^3 لكل حوض لكل حوض تهوية وتكون نسبة الغذاء للكائنات الحية عند التركيزات المختلفة تكون كالتالي :

* عند تركيز 4.2 kg MLSS/m^3 يكون الحمل مبنيا على حمل $\text{BOD} = 0.350 \text{ kg/m}^3$:
:200000 m^3/d

$$= \frac{70000 \text{ kgBOD/d}}{2000 \text{ m} \times 4.2 \text{ kg MLSS/m}^3} = 8.3 \text{ kg BOD/ kg MLSS/d} \frac{F}{M}$$

* عند تركيز 4.2 kg MLSS/m^3 يكون الحمل مبنيا على COD :

$$= \frac{70000 \text{ kgBOD/d} \times 2.1 \text{ kg COD/d}}{2000 \text{ m} \times 4.2 \text{ kg} \frac{\text{MLSS}}{\text{m}^3} \times 0.70 (\text{biodegradable part})} = 25 \text{ kg COD/ kg MLSS/d} \frac{F}{M}$$

* عند تركيز 3.60 kg MLSS/m^3 يكون الحمل مبنيا على BOD :

$$= \frac{70000 \text{ kgBOD/d}}{2000 \text{ m}^3 \times 3.60 \text{ kg MLSS/m}^3} = 9.72 \text{ kg BOD/ kg MLSS/d} \frac{F}{M}$$

* عند تركيز 3.60 kg MLSS/m^3 يكون الحمل مبنيا على COD :

$$= \frac{70000 \frac{\text{kgBOD}}{\text{d}} \times 2.1}{2000 \text{ m}^3 \times 3.60 \text{ kg} \frac{\text{MLSS}}{\text{m}^3} \times 0.70 (\text{biodegradable part})} = 29.17 \text{ kg COD/ kg MLSS/d} \frac{F}{M}$$

وحيث أن المعدل العياري المثالي للعملية لكل من BOD&COD على التوالي يتراوح بين :

5.0–25 kg COD/ kg MLSS/d ؛ 2.2–10 kg BOD/ kg MLSS/d

فإن التصميم مناسب للوفاء بهذه الأحمال مع عامل أمان .

* زمن الحجز الهيدروليكي HRT في حوض الإنتقاء في حال متوسط معدل التدفقي اليومي مع الحماية الراجعة بنسبة 75% من التدفق يكون :

$$\text{Selector tank retention time} = \frac{1000 \text{ m}^3}{69.44 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}} = \mathbf{14.40 \text{ minutes}}$$

*زمن المكث في حوض الإنتقاء في حال أقصى تدفق يومي مع الحماية الراجعة بنسبة 75% من التدفق يكون :

$$\text{Selector tank retention time} = \frac{1000 \text{ m}^3}{104.17 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}} = \mathbf{9.60 \text{ minutes}}$$

وهذا الزمن كافي للتحكم في الخيطيات التي تحتاج زمن **5-25 دقيقة** كما أسلفنا .

تم تزويد احواض التخمر البيولوجي اللاهوائي بخلاطات تمكن من إحداث تلامس بين البكتيريا الموجودة بالحماة والمياه الخام .

مفهوم حوض الإنتقاء هو إستخدام مفاعل حيوي يفضل نمو البكتيريا الصانعة للندف أكثر من البكتيريا الخيطية بهدف التحكم في الخيطيات ومنع تضخم الحماة وتحسين خواص الترسيب كما يكون الهدف من حوض الإنتقاء أيضا أن يستهلك معظم المواد العضوية القابلة للتحلل أو الأكسدة البيولوجية بسهولة rbCOD ؛ حيث تبقى المواد العضوية للجسيمات القابلة للتحلل bpCOD لأنها أبطأ في الأكسدة البيولوجية وتدخل حوض التهوية .

قد يكون حوض الإنتقاء هوائي aerobic أو لاهوائي بنوعية (anaerobic أو anoxic) والمبدأ الذي يتم تصميم حوض الإنتقاء من أجله هو أن يتم تنمية البكتيريا التي ترسب الحماة بصورة جيدة على حساب البكتيريا الخيطية التي يمكن ان تسبب تكتل الحماة وطفوها أو بمعنى آخر تقليل عدد الخيطيات مقارنة مع البكتيريا الصانعة للندف وتساعد على التسريب (لاحظ ايضا ان الخيطيات بنسبة محدودة تساعد على الترسيب حيث تعمل كدعامة تتجمع عليها الندف الصغير وتزيد من



حوض الانتقاء

كثافة الندف وتساعد على ترسيبها الا انه اذا زادت اعدادها يمكن ان تكون شبكات من الخيطيات تتجمع عليها الكثير من الندف التي تتكتل وتتصاعد على سطح الحوض).

بصفة عامة الخليط او المزيج المتخمر MLSS الذي ينعدم أو يقل فيه الأوكسجين الذائب عن 0.5 ملجم/ل أو يكون نسبة F/M صغيرة يساعد على نمو الخيطيات بكثرة مما يسبب تكتل الحمأة .

الكائنات التي لها المقدرة على التغذية على الكربون العضوي الذائب وتخزنه لحين الحاجة اليه في وقت يقل فيه الغذاء لها القدرة على تكوين ندف وتترسب بصورة جيدة .

ولأن أحواض الإنتقاء تستقبل المياه الخام مع الخليط المتخمر للحمأة الراجعة يكون التدفق ذو حمل عضوي عالي أي أن نسبة الغذاء الى الكائنات الحية كبير F/M ويسبب ذلك صدمة حيث تقوم الكمية الكبيرة من الميكروبات (بكتريا تكوين الندف) بالحمأة الراجعة باستهلاك معظم الغذاء في المياه الخام تاركة القليل منه

للخيطيات مما يؤدي لموت معظم الخيطيات وتبقى نسبة صغيرة منها تساعد في تكوين الندف بحجم مناسب للترسيب بعد ذلك .

يتم تصميم حوض الإنتقاء إما بناء على آليات الحركية أو التمثيل الغذائي ؛ مفهوم تصميم حوض الإنتقاء طبقا لآلية الحركية ذو نسبة عالية من F/M أن يكون هوائي وتركيز D.O عالي للحفاظ على الندف الهوائية 6-8 mg/L ولكن هذا التركيز العالي من الأوكسيجين الذائب صعب عمليا لذلك تستخدم الأحواض التي تعمل عند تركيز منخفض جدا من الأوكسيجين يصل إلى الصفر وهي أحواض آلية التمثيل الغذائي metabolic selector .

تستخدم الأحواض المصممة طبقا لآلية التمثيل الغذائي اذا كان الهدف إزالة المغذيات (نيتروجين أو فوسفور أو كلاهما معا) حيث تتحسن خواص الترسيب ويكون نمو البكتيريا الخيطية محدود وأقل ما يمكن ؛ ويوجد نوعين من هذه الأحواض هما الأحواض اللاهوائية anoxic والأحواض اللاهوائية anaerobic وكلاهما يفضل نمو البكتيريا الصانعة للندف .



2-4 أحياء التهوية Aeration tanks

2-4-1 تحديد عمر الحمأة determination of sludge age

أولاً : إذا كان الهدف نترتة فقط

في عمليات المعالجة بالحمأة المنشطة بطريقة التهوية المطولة يكون عمر الحمأة أكبر من 25 يوم إذا كانت درجات الحرارة أقل من 12 درجة مئوية ؛ ولكن يمكن خفض عمر الحمأة إذا كانت درجات الحرارة خلال إسبوعين متتاليين أكبر من 12 درجة مئوية (طبقاً للمواصفات الألمانية أعلاه) ؛ وحيث أن أقل درجة حرارة سائدة خلال العام في المدينة لمياه المجاري هي 27°C درجة مئوية وتصل أعلى درجة حرارة خلال الصيف إلى 32°C درجة مئوية تم التصميم لعمر الحمأة عند درجة حرارة 27°C درجة مئوية .

وفي تصميم المحطة تم إستهداف هضم للحمأة داخل أحواض التهوية والإستغناء عن أحواض الترسيب الإبتدائي والهواضم ؛ كما تم التصميم بهدف إزالة المغذيات (النيتروجين والفوسفور) ومعنى هذا يجب ان يكون عمر الحمأة كافي ويسمح بنمو بكتيريا النترتة والنترتة العكسية (النيتروزوموناس والنيتروباكتر) بالإضافة لتثبيت الحمأة هوائياً بحوض التهوية .

أولاً: يتم تعيين عمر الحمأة اللازم لتحديد حجم التهوية والكافي لحدوث نترتة من المعادلة التالية طبقاً لدرجة الحرارة :

$$t_{SS,aerob\ dim} = SF * 3.40 * 1.103^{(15-T)}$$

حيث 3.40 هو مقلوب معدل النمو الصافي لبكتيريا النيتروزوموناس عند 15°C⁰ وعمر حمأة 2.13d وعامل أمان SF=1.60 وهذا معناه لو أن عمر الحمأة أو زمن مكث المواد الصلبة في حوض التهوية 2.13d لن تتراكم بكتيريا النترتة لذلك يجب ان يكون عمر الحمأة أو زمن مكث المواد الصلبة بحوض التهوية أكبر من ذلك .

معامل الأمان للمحطات التي تخدم تعداد سكاني 20000 أو حمل الأكسجين الحيوي الممتص فيها حتى $BOD_d/BOD_t = 1200\text{kg/d}$ يكون $SF=1.80$ وللمحطات التي تخدم 100000 نسمة أو $BOD_d/BOD_t \geq 6000\text{kg/d}$ يكون $SF=1.45$ وفي هذه الحالة يتوقع أن يكون تركيز الأمونيا الذائبة كأمونيوم في المياه المعالجة $S_{NH_4,EST} = 1\text{mg/l}$ بشرط عدم وجود اي تأثير سلبي يحد من نمو بكتيريا النترتة .

إذا كان في محطة $BOD_d/BOD_t < 6000\text{kg/d}$ ومعامل أعلى أكسدة للأمونيا $f_N < 1.8$ فإنه يمكن خفض عامل الأمان ليكون $SF < 1.45$

لو درجة الحرارة عند مخرج حوض التهوية أقل من درجة الحرارة اللازمة لبقاء الأمونيا T_{ER} في المياه المعالجة فإن درجة الحرارة تصحح لتصبح $(T_{ER} - 2)$ وذلك لتحقيق نترتة ثابتة عند درجة حرارة تحت السيطرة حيث $T_{ER} = 12C^0$ بناء على حجم حوض التهوية مع الأخذ في الاعتبار عامل الأمان يمكن تحديد عمر الحماة عند درجة الحرارة المذكورة كالتالي :

$$@ BOD_d/BOD_t = 1200\text{kg/d} \quad t_{SS,aerob,dim} = 10 \text{ d}$$

$$@ BOD_d/BOD_t = 6000\text{kg/d} \quad t_{SS,aerob,dim} = 8 \text{ d}$$

ثانيا إذا كان الهدف إزالة النيتروجين نترتة /نترتة عكسية

ولجودة المياه المعالجة ؛ يتم تقدير عمر الحماة من خلال المعادلة التالية للمحطات التي تستهدف إزالة النيتروجين (من خلال عمليتي النترتة/ النترتة العكسية) بإستخدام معامل أمان $SF=1.45$ حيث أن إنتاجية الحماة أكبر من 6000kg/d طبقا للمواصفة الألمانية و الرقم 3.40 هو معامل تجريبي مشتق من معدل النمو الصافي لبكتيريا النيتروزوموناس عند 15^0C .

$$t_{SS,dim} = t_{SS,arob} * \frac{1}{1 - \left(\frac{V_D}{V_{AT}}\right)} \text{ (d)}$$

$$t_{SS,aerob,dim} = SF * 3.40 * 1.103^{(15-T)} * \frac{1}{1 - \left(\frac{V_D}{V_{AT}}\right)} \text{ (d)}$$

يجب تعيين حجم $\left(\frac{V_D}{V_{AT}}\right)$ أولا وهي نسبة حجم المنطقة اللاهوائية anoxic zone إلى حجم التهوية oxic zone أو حوض التهوية .

بترتيب المعادلة السابقة :

$$= \frac{SF*3.40*1.103^{(15-T)}}{t_{SS,dim}} \left(\frac{V_D}{V_{AT}} \right)$$

إذا كانت قيمة $\left(\frac{V_D}{V_{AT}} \right)$ سالبة فإن قيمتها تكون صفر ويتم خفض عامل الأمان $SF=1.2$ أو زيادة حجم حوض التهوية وإذا كان مستهدف لتكيز الأمونيوم في المياه المعالجة $SNH_{4,ER} < 10mg/l$ يجب زيادة قيمة عامل الأمان

2-4-2 إتران النيتروجين Nitrogen balance

يمكن تقدير تركيز النترات التي ستخضع للنترة من المعادلة: (يرمز للنيتروجين في مدخل حوض التهوي

$$S_{NO3D} = C_{N,iAT} - S_{org N,AN} - S_{NH4,AN} - S_{NO3,AN} - X_{org N,BM} \text{ mg/l}$$

حيث :

تركيز النيتروجين في مدخل حوض التهوية C_{NIAT} أو يرمز له أحيانا 58.4 mg/l

تركيز النيتروجين العضوي في المنتج النهائي $S_{org N,EST}$ أو يرمز له أحيانا 2 mg/l

تركيز نيتروجين الأمونيا في المنتج النهائي $S_{NH4 EST}$ أو يرمز له أحيانا 0 mg/l

تركيز نيتروجين النترات في المنتج النهائي $S_{NO3 EST}$ أو يرمز له أحيانا 8 mg/l

تركيز النيتروجين للكتلة الحيوية $X_{org N,BM}$ وهو يساوي :

$$X_{org N,BM} = 0.04-0.05 * C_{BOD \text{ inlet aeration}}$$

أو

$$X_{org N, BM} = 0.02-0.025 * C_{COD \text{ inlet aeration}}$$

وبالتالي سنجد بعد الأخذ بالإعتبار حمل النيتروجين العضوي لمياه التصافي والرشيح لوحدات معالجة

الحماة أن تركيز النيتروجين العضوي للكتلة الحيوية هو :

$$X_{org N, BM} = 0.04 * 358 \text{ mg/l} = 14.32 \text{ mg/l}$$

وبالتعويض عن القيم في المعادلة سنجد أن تركيز النيتروجين الذي سيخضع للنترة هو :

$$S_{NO3D} = 58.40 - 2 - 0 - 8 - 14.32 = 34.08 \text{ mg/l} = 0.0341 \text{ kg/m}^3$$

وبالتالي سيكون حمل النيتروجين الكلي الذي سوف يخضع للنترة خلال اليوم هو :

$$S_{NO3D} = ADF * 0.0361 \text{ kg/m}^3 = Q_{influent} * 0.0431 \text{ kg/m}^3 = 209287 \text{ m}^3/\text{d} * 0.0361 \text{ kg/m}^3$$

$$S_{NO3D} = 7555 \text{ kg/d}$$

يمكن تلخيص تركيزات النيتروجين المختلفة وحمل النيتروجين في الجدول التالي :

Parameters	Concentration mg/l	Load kg/d
C _{N,IAT}	58.40	12222.40
X _{org N,BM}	14.32	3047
S _{org N,AN}	2.00	418.60
S _{NH4,AN}	0.00	0.00
S _{NO3,AN}	8.00	1674.30
S _{NO3D}	38.32	17362.20

3-4-2 النسبة الحجمية لنزع النترة ($\frac{V_D}{V_{AT}}$) volumetric ratio for denitrification

للحصول على الحجم المناسب للمنطقة اللاهوائية anoxic zone اللازمة لإحداث نزع نترة denitrification لإزالة النيتروجين يتم حساب نسبة (V_D/V_{AT}) وطبقا للمواصفة الألمانية يوجد صيغتين لحساب هذه النسبة كالتالي :

*في حالة نزع النترة المتزامن (الموازي) والمتقطع simultaneous & intermittent denitrification

$$= \frac{0.75 \cdot OV_{CBOD}}{2.90} * (V_D/V_{AT}) \frac{S_{NO3D}}{C_{BOD,IAT}}$$

*في حالة النترة العكسية القبلية Pre- denitrification

$$= \frac{0.75 \cdot OV_{CBOD}}{2.90} * (V_D/V_{AT})^{-0.765} \frac{S_{NO3D}}{C_{BOD,ZB}}$$

الجدول التالي يبين النسب الرئيسية والنترة العكسية المحتمل طبقا لهذه الصيغ :

(V_D/V_{BB})	S _{NO3D} / C _{N,IAT}	
	Pre- denitrification	simultaneous & intermittent denitrification
0.20	0.11	0.06
0.30	0.13	0.09
0.40	0.14	0.12
0.50	0.15	0.15

وطبقا للمواصفات الألمانية يجب أن تكون النسبة

$$0.20 \leq (V_D/V_{AT}) \leq 0.50$$

وإذا كانت النسبة $(V_D/V_{AT}) \leq 0.15$ فإنه يجب إضافة مصدر للكربون العضوي من الخارج لكي يفي بحاجة عملية النترية العكسية .

$$t_{SS,aerob,dim} = SF * 3.40 * 1.103^{(15-T)} * \frac{1}{1 - (V_D/V_{AT})} \quad (d)$$

* في حالة إستخدام نسبة $V_D/V_{AT} = 37\% = 0.37$ أقل درجة حرارة سائدة خلال العام $27^{\circ}C$

$$t_{SS,aerob,dim} = 1.45 * 3.40 * 1.103^{(15-T)} * \frac{1}{1 - (V_D/V_{AT})} \quad (d)$$

$$t_{SS,aerob,dim} = 1.45 * 3.4 * 1.103^{(15-T)} * \frac{1}{1 - 0.37} \quad (d)$$

$$t_{SS,aerob,dim} = 1.45 * 3.4 * 0.3084 * 1.587 = \mathbf{2.413} \quad (d)$$

وعند درجة حرارة $32^{\circ}C$ يكون عمر الحماة :

$$t_{SS,aerob,dim} = 1.45 * 3.4 * 0.18889 * 1.587 = \mathbf{1.47786} \quad (d)$$

ثالثا : عمر الحماة عند $12^{\circ}C$ إذا كان المطلوب تثبيت الحماة مع نترية فقط stabilization and

nitrification في هذه الحالة يجب ان يكون عمر الحماة $t_{MLSS,dim} \geq 20d$

إذا كان المستهدف إزالة النيتروجين مع التثبيت stabilization and nitrification/denitrification يكون

عمر الحماة المطلوب $t_{MLSS,dim} \geq 25d$

رابعا : إذا كانت درجة الحرارة في حوض التهوية أكبر من $12^{\circ}C$ فإن عمر الحماة يتم تقديره من المعادلة

التالية :

$$t_{MLSS,dim} = 1.072^{(12-T)} * 25d$$

عمر الحماة اللازم كي يتم هضم للحماة عند درجة حرارة 27°C درجة مئوية هو كالتالي :

$$t_{\text{MLSS,dim @}27^{\circ}\text{C}} = 1.072^{(12-27)} * 25\text{d} = 0.352 * 25 \text{ d} = 8.81 \text{ d}$$

وعند درجة حرارة 32°C يكون عمر الحماة :

$$t_{\text{MLSS,dim @}27^{\circ}\text{C}} = 1.072^{(12-32)} * 25\text{d} = 0.352 * 25 \text{ d} = 6.22 \text{ d}$$

وبالتالي سيكون عمر الحماة $t_{\text{MLSS,dim @}27^{\circ}\text{C}} = 8.81\text{d} = 9\text{d}$ مناسب لحدوث نترتة ونترتة عكسية وتثبيت للحماة بحوض التهوية وقد تم إختياره ليكون عمر الحماة بالمحطة حيث أن درجة حرارة المياه في أغلب الأيام تكون في هذه الحدود .

2-4-4 الأوكسجين الحيوي الممتص أثناء عملية التنفس لأكسدة المواد العضوية oxygen demand for substrate respiration

لكي يتم حساب نسبة حجم منطقة النترتة العكسية كجزء من الحجم الكلي لمنطقة التهوية يكون ذلك من خلال حساب الأوكسجين المطلوب واللازم لأكسدة المواد العضوية لهذه العملية بما في ذلك الأوكسجين الممتص أثناء التنفس الداخلي أو الذاتي للخلايا الحية endogenous respiration ؛ وحيث أن نسبة الأوكسجين الكيميائي المستهلك إلى الأوكسجين الحيوي الممتص لمياه الصرف الصحي البلدي الخام هي :

$$\text{COD}_{\text{inlet}}/\text{BOD}_{\text{inlet}} \leq 2.20$$

فإن الأوكسجين المطلوب للعملية هو :

$$\text{OV}_{\text{d,c}} = \text{B}_{\text{d,BOD}} * \frac{[0.56 + (0.15 * t_{\text{MLSS}} * F_T)]}{1 + (0.17 * t_{\text{MLSS}} * F_T)}$$

وحيث أن الحمل العضوي اليومي المتوقع وعمر الحماة الذي تم حسابه للعملية وعامل تصحيح درجة الحرارة للتنفس الذاتي عند 32°C هي على التوالي :

$$\text{Daily biochemical oxygen demand load } \text{B}_{\text{d,BOD}} = 72786 \text{ kg/d}$$

Sludge age $t_{MLSS} = 8.81 \text{ d}$

Temperature correction factor for endogenous respiration 32°C

$$F_{T@32^{\circ}\text{C}} = 1.072^{(T-15)} = 3.27$$

بالتالي سيكون الأكسجين المطلوب للحالتين بعد التعويض بالقيم السابقة سيصبح كالتالي :

$$OV_{d,c} = 72786 \text{ kg/d} \left[0.56 + \frac{(0.15 \cdot 8.81 \text{ d} \cdot 3.27)}{1 + (0.17 \cdot 8.81 \text{ d} \cdot 3.27)} \right] = 94076 \text{ kg O}_2/\text{d}$$

وسيكون معدل إنتشار الأكسجين هو :

$$OV_{CBOD} = \frac{OV_{d,c}}{B_{d,BOD}} = \frac{94076 \text{ kg O}_2/\text{d}}{72786 \text{ kg/d}} = 1.29 \text{ mg/l}$$

2-4-5 سعة النترة العكسية denitrification capacity

سعة النترة العكسية هي النسبة بين النيتروجين الذي سيتم عمل نترة عكسية له S_{NO3D} والأكسجين الحيوي المطلوب الداخل لحوض التهوية $S_{BOD,ZB}$ ؛ وفي كلا العمليتين للنترة العكسية يكون :

$$= \frac{36.10}{292} = 0.124 \text{ i.e. } < 0.15 \frac{S_{NO3D}}{S_{BOD,ZB}}$$

2-4-6 نسبة (V_D/V_{AT}) للنترة العكسية المتزامنة (الموازية) Simultaneous denitrification

$$= \frac{0.75 \cdot OV_{CBOD}}{2.90} (V_D/V_{AT}) \frac{S_{NO3D}}{S_{BOD,IAT}}$$

بترتيب المعادلة تصبح :

$$= \frac{S_{NO3D}}{S_{BOD,IAT}} * \frac{2.90}{0.75 \cdot OV_{CBOD}} = 0.124 * \frac{2.90}{0.75 \cdot 1.25} = 0.37 \frac{V_D}{V_{AT}}$$

وهذه قيمة آمنة لأن عملية النترتة العكسية تتأثر أيضا بدرجة الحرارة حيث تزيد الكفاءة بنسبة 1% لكل زيادة في درجة الحرارة قدرها درجة واحدة أعلى من 12°C وهذه الكفاءة العالية لم يتم إتخاذها بالإعتبار .

2-4-7 نسبة (V_D/V_{AT}) للنترتة العكسية السابقة Preceding denitrification

تحسب النسبة من العلاقة التالية بعد إعادة ترتيبها :

$$= \frac{0.75 \cdot OV_{CBOD}}{2.90} \cdot (V_D/V_{AT})^{-0.765} \frac{S_{NO3D}}{C_{BOD,IAT}}$$

$$= \left(1 / \frac{2.90}{0.75 \cdot OV_{CBOD}}\right)^{1/0.765} = 0.27 \frac{V_D}{V_{AT}}$$

وهنا أيضا هذه قيمة آمنة لأن عملية النترتة العكسية تتأثر أيضا بدرجة الحرارة .

2-4-8 إختيار مؤشر حجم الحماة SVI selection of sludge volume index

عادة في أنظمة المعالجة للتهوية المطولة مثل نظام الكاروسيل الذي يتكون من مراحل إزالة للنيتروجين ويتم تثبيت الحماة بأحواض التهوية يتم الإستغناء عن أحواض الترسيب الإبتدائي وبالتالي لا تكون هناك حاجة أيضا للهواضم ؛ وفي هذا النظام تكون مؤشرات حجم الحماة عادة بين 80-150

يعتمد تصرف المضخات للحماة الراجعة على تركيز الحماة الراجعة والتي تعتمد بدورها على مؤشر حجم الحماة SVI تتأثر سعة المضخات للحماة الراجعة بنظام تجميع الحماة (الكواشط مثلا) في حوض الترسيب كما تتأثر بالتصميم العام لحوض الترسيب النهائي .

يمكن البدء في تقدير تصرف المضخات من تحديد زمن تركيز الحماة بأحواض الترسيب النهائي حيث يتم تقدير تركيز الحماة في قاع حوض الترسيب من المعادلة التالية :

$$SS_{BS} = \frac{1000}{SVI} * \sqrt[3]{tTh} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

حيث S تركيز الحمأة في قاع الحوض و t_{Th} زمن التخليط (ساعتين) ؛ وحيث أنه تم إختيار مؤشر حجم الحمأة $SVI = 120$ فإن تركيز الحمأة في قاع الحوض سيصبح :

$$SS_{BS} = \frac{1000}{120} * \sqrt[3]{2} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

وبالأخذ في الإعتبار الدورة القصيرة التي تؤدي إلى تخفيف التركيز والتي تعتمد على تصميم الجزء الوسط من حوض الترسيب والذي ينتج عنه تخفيض التركيز إلى 80% يكون التركيز المتوقع للحمأة الراجعة $S = MLSS_{RS}$ هو :

$$S = \sqrt[3]{2} * \frac{1000}{120} * 80\% = 1.26 * \frac{1000}{120} = 10.50 \text{ g/L} * 80\% = 8.40 \text{ gm/L}$$

*وطبقا للمواصفات الألمانية يكون معدل رجوع الحمأة 75% وبالتالي يكون معدل تدفق الحمأة الراجعة عند أقصى تدفق ($Q_{max.flow} = 309187 \text{ m}^3/\text{d} = 12883 \text{ m}^3/\text{hr}$)

$$\text{RAS pump capacity} = Q_{peak.flow} = 12883 \text{ m}^3/\text{hr} * 75\% = 9662 \text{ m}^3/\text{hr}$$

*ويكون التركيز الناتج للخليط المتخمر بأحواض التهوية $MLSS_{BB}$ من المعادلة التالية :

$$MLSS_{AT} = \frac{MLSS_{RS} * RV}{1 + RV} = \frac{8.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.75}{1 + 0.75} = 3.60 \text{ kg/m}^3$$

*تفترض المواصفة الألمانية نسبة رجوع تعادل 100% للأمان وفي هذه الحالة يكون تركيز المواد الصلبة العالقة للخليط المتخمر في احواض التهوية :

$$MLSS_{AT} = \frac{MLSS_{RS} * RV}{1 + RV} = \frac{8.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1}{1 + 1} = 4.2 \text{ kg/m}^3$$

*لو تم إختيار تركيز للمواد الصلبة العالقة للخليط المتخمر في احواض التهوية 3.6 kg/m^3 وتركيز الحمأة الراجعة 8.40 kg/m^3 في قاع الحوض وتركيز الدورة القصيرة 0.8 ونسبة الرجوع 0.77 سيكون :

* معدل رجوع الحمأة 77% وبالتالي يكون معدل تدفق الحمأة الراجعة عند أقصى

$$\text{RAS pump capacity} = Q_{\text{peak.flow}} = 12883 \text{ m}^3/\text{hr} * 77\% = 9920 \text{ m}^3/\text{hr}$$

*تم تزويد المحطة بعدد 8 مضخات للحمأة الزائدة RAS تصرف المضخة الواحدة $1600 \text{ m}^3/\text{hr}$ مقسمة

لمجموعتين كل بحيث تعمل ثلاثة من كل مجموعة والرابعة إحتياطي (3+1) بهدف الحفاظ على تركيز مناسب من الكتلة الحيوية اللازمة للمعالجة

ومعنى ذلك أن مضخات الحمأة الراجعة عندما تعمل بكامل تصرفاتها للمضخات الستة الأساسية سيكون التصرف الإجمالي $9600 \text{ m}^3/\text{hr}$ وهذا معناه أنها من الناحية التصميمية ستكون كافية للوفاء بالغرض التصميمي للحمل العضوي التصميمي .

*ويكون التركيز الناتج للخليط المتخمر بأحواض التهوية $MLSS_{AT}$ من المعادلة التالية :

$$MLSS_{AT} = \frac{MLSS_{RS} * RV}{1 + RV} = \frac{8.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.77}{1 + 0.77} = 3.65 \text{ kg/m}^3$$

2-5 تقدير إنتاجية الحمأة والأوكسيجين المستهلك في عملية إزالة الكربون في ضوء الأوكسيجين الكيميائي

المستهلك COD

تتم عمليات حسابات إنتاجية الحمأة النشطة طبقا للحمل العضوي معبرا عنه إما بالأوكسيجين الحيوي الممتص

BOD أو الأوكسيجين الكيميائي المستهلك **COD**

1-2-5-2 أولا الحسابات طبقا للأوكسيجين الكيميائي المستهلك COD

لحسابات تصميم حوض التهوية طبقا لتركيز الأوكسيجين الكيميائي المستهلك أو حمل الأوكسيجين الكيميائي

نحتاج إلى :

*تركيز الأوكسيجين الكيميائي المستهلك **COD** والذي يرمز له $C_{COD,IAT}$

*تركيز الأوكسيجين الكيميائي المستهلك للرشح **COD** خلال أغشية ترشيح $0.45 \mu m$ والذي يرمز له

$S_{COD,IAT}$

* تركيز الأوكسيجين الكيميائي المستهلك للمواد الصلبة المرشحة والتي تمر من الغشاء **COD** والذي يرمز له

$X_{COD,IAT}$

*تركيز الأوكسيجين الكيميائي المستهلك للمواد الصلبة التي يحجزها الغشاء **COD** خلال أغشية ترشيح 0.45

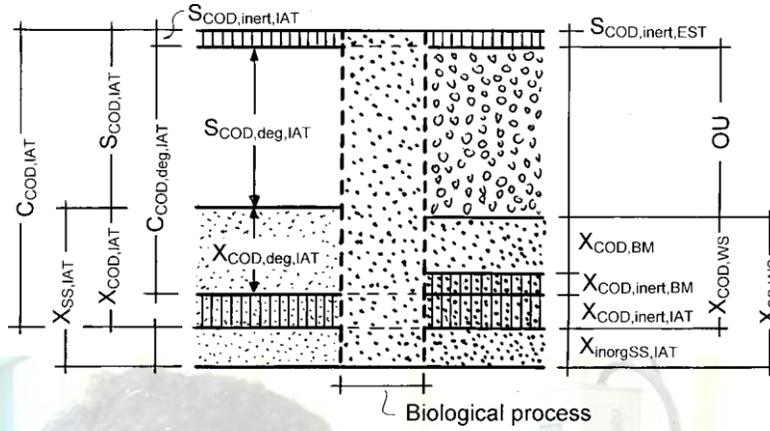
μm والذي يرمز له $X_{SS,IAT}$

*المكونات الغير عضوية $X_{inorgSS,IAT}$ للمواد الصلبة المرشحة ($X_{SS,IAT}$)

الأحمال المصاحبة يمكن تقديرها كما سبق مع **BOD**

الشكل التالي (A1) يبين التغير في الأوكسيجين الكيميائي المستهلك والمواد الصلبة المرشحة مع عملية

المعالجة البيولوجية



A1 Change of COD and the filterable solids with biological treatment (diagram of principle)

1-5-2 (أ) إيزان الأوكسيجين الكيمياء المستهلك COD balance

يقسم الأوكسيجين الكيمياء المستهلك $C_{COD,IAT}$ عند مدخل حوض التهوية (للمياه الخام أو المياه القادمة من حوض الترسيب الابتدائي لعينة متجانسة) إلى ذائب وحببيات (غير ذائب) ويجب أن ننتبه إلى أن كل التركيزات ترجع إلى المياه الخام المتدفقة للمحطة وهذا يطبق أيضا على $OV, X_{COD,SP}$ وغيره كما في الشكل السابق .

$$C_{COD,IAT} = S_{COD,IAT} + X_{COD,IAT} \text{ mg/L} \quad (A1)$$

كلا من القسمين يحتوي على مواد قابلة التحلل البيولوجي biodegradable ومواد خاملة inert

$$C_{COD,IAT} = S_{COD,deg,IAT} + S_{COD,inert,IAT} + X_{CODdeg,IAT} + X_{CODinert,IAT} \text{ mg/L} \quad (A2)$$

حيث $S_{COD,deg,IAT}$ تركيز الأوكسيجين الذائب القابل للتحلل البيولوجي عند مدخل حوض التهوية و $S_{COD,inert,IAT}$ تركيز الأوكسيجين الذائب الخامل عند مدخل حوض التهوية و $X_{CODdeg,IAT}$ تركيز الأوكسيجين للجسيمات أو الحبيبات القابل للتحلل البيولوجي عند مدخل حوض التهوية و $X_{CODinert,IAT}$ تركيز الأوكسيجين الخامل للجسيمات عند مدخل حوض التهوية .

الجزء الخامل الذائب في مدخل حوض التهوية يساوي الجزء الذائب في المياه المعالجة $C_{COD,inert,EST}$

$$S_{COD,inert,IAT} = C_{COD,inert,EST} \quad (A3)$$

يقدر الجزء الخامل الذائب بحوالي $0.05 - 0.1 C_{COD,IAT}$ وفي حالة عدم القيام بقياس عملي له

يفضل لمياه الصرف الصحي البلدي أو المنزلي حساب

$$S_{\text{COD, inert, IAT}} = 0.05 * C_{\text{COD, IAT}}$$

$$S_{\text{COD, inert, IAT}} = 0.05 * 735 \text{ mg/l} = 36.75 \text{ mg/l}$$

$$S_{\text{COD, inert, IAT}} = C_{\text{COD, inert, EST}} = 36.75 \text{ mg/l}$$

الجزء الخامل من الأوكسجين الكيميائي المستهلك للجسيمات $X_{\text{COD, inert, IAT}}$ يمكن تقديره أيضا كجزء من الأوكسجين الكيميائي المستهلك الحبيبي $X_{\text{COD, IAT}}$.

$$X_{\text{COD, inert, IAT}} = A * X_{\text{COD, IAT}} = A * (C_{\text{COD, IAT}} - S_{\text{COD, IAT}}) \text{ mg/L} \quad (\text{A4})$$

طبقا لنوع مياه الصرف وزمن المكث في حوض الترسيب الإبتدائي فإن (A) تقع بين 0.20-0.35 وتقدر قيمتها لمياه الصرف الصحي المنزلي $A=0.25$

يمكن الحصول على تركيز COD ($C_{\text{COD, deg, IAT}}$) كالتالي من المعادلة (A5) :

$$C_{\text{COD, deg, IAT}} = C_{\text{COD, IAT}} - S_{\text{COD, inert, EST}} - X_{\text{COD, inert, IAT}} \text{ mg/L} \quad (\text{A5})$$

في حالة إضافة مصدر خارجي من الكربون لتحسين نزع النترتة فإنه يجب زيادة $S_{\text{COD, deg, IAT}}$ بقيمة

$$S_{\text{COD, Ext}} \leq 10 \text{ mg/l} \text{ (المعادلة 5-80) ولا يؤخذ بالإعتبار}$$

تتكون المواد الصلبة القابلة للترشيح بالغشاء الميكروني للمياه الداخلة (المواد الصلبة العالقة في

المياه الخام أو المياه القادمة من حوض الترسيب الإبتدائي) ويرمز لها ($X_{\text{SS, IAT}}$) من جزء

عضوي وجزء غير عضوي ويكون الجزء الغير عضوي ليس جزء من $C_{\text{COD, IAT}}$

$$X_{\text{SS, IAT}} = X_{\text{orgSS, IAT}} + X_{\text{inorgSS, IAT}} \text{ mg/L}$$

أو

$$X_{\text{inorgSS, IAT}} = B * X_{\text{SS, IAT}} \text{ mg/L} \quad (\text{A6})$$

قيمة (B) المثالية تكون بين 0.2-0.3 مواد عضوية ؛ وإذا لم يتم تقديرها عمليا فيمكن

إعتبارها لمياه الصرف الخام $B = 0.3$ (وللخارج من حوض الترسيب الإبتدائي $B = 0.2$)

$$X_{\text{inorgSS, IAT}} = 0.3 * 450 \text{ mg/L} = 135 \text{ mg/l}$$

$$X_{orgSS,IAT} = 450 + 135 \text{ mg/L} = 585 \text{ mg/l}$$

وبعد العديد من التجارب والقياسات وجد أن المواد الصلبة العضوية الجافة في المياه الداخلة الخام تقدر $1.45 \text{ g COD/g org SS}$ ومنها يمكن بناء هذه العلاقة التالية (A7)

$$X_{COD,IAT} = C_{COD,IAT} - S_{COD,IAT} = X_{SS,IAT} * 1.45 * (1-B) \text{ mg/L} \quad (A7)$$

$$X_{COD,IAT} = 450 \text{ mg/L} * 1.45 * (1-0.3) \text{ mg/L} = 456.8 \text{ mg/L}$$

وإذا كان تركيز الأكسجين الذائب في المياه الخام التي تم ترشيحها خلال مرشح 0.45μ) $S_{COD,IAT}$ غير معروف وتم قياس المواد الصلبة العالقة في المياه الخام عند مدخل حوض التهوية $X_{SS,IAT}$ فإنه يمكن تقدير $S_{COD,IAT}$ من المعادلة (A7)

$$S_{COD,IAT} = C_{COD,IAT} - X_{SS,IAT} * 1.45 * (1-B) \text{ mg/L}$$

$$S_{COD,IAT} = 735 \text{ mg/L} - 450 \text{ mg/L} * 1.45 * (1-0.3) \text{ mg/L} = 289.3 \text{ mg/L}$$

$$S_{COD,IAT} = 735 \text{ mg/L} - 289.3 \text{ mg/L} = 445.7 \text{ mg/L}$$

ومن هذه المعادلة بالتعويض في المعادلة :

$$X_{CODinert,IAT} = A * X_{COD,IAT} = A * (C_{COD,IAT} - S_{COD,IAT}) \text{ mg/L} \quad (A4)$$

$$X_{CODinert,IAT} = 0.25 * X_{COD,IAT} = 0.25 * (600 \text{ mg/L} - 234.6 \text{ mg/L})$$

من العلاقة نحصل على كل من :

$$X_{CODinert,IAT} = 0.25 * (735 \text{ mg/L} - 445.7 \text{ mg/L}) = 72.33 \text{ mg/L}$$

$$X_{COD,IAT} = 456.80 \text{ mg/L}$$

وبالتعويض في المعادلة :

$$C_{COD,deg,IAT} = C_{COD,IAT} - S_{COD,inert,EST} - X_{CODinert,IAT} \text{ mg/L} \quad (A5)$$

$$C_{COD,deg,IAT} = 735 \text{ mg/L} - S_{COD,inert,EST} - 72.33 \text{ mg/L}$$

$$C_{COD,deg,IAT} = 735 \text{ mg/L} - 72.33 \text{ mg/L} = 662.67 \text{ mg/L}$$

ونتيجة عملية المعالجة البيولوجية يكون تركيز COD في المنتج الثانوي (الذي يتكون من COD

الخامل الذائب **SCOD, inert, EST** و COD الذائب الغير قابل للتحلل البيولوجي و COD للمواد الصلبة المرشحة ($X_{COD, nonbiodeg}$ filterable solids) والحماة الزائدة المقاسة كأكسيجين كيميائي مستهلك COD ($X_{COD, SP}$) كلها متبقية .

الفرق يتم تمثيله بالأكسيجين المستهلك في التنفس OV ؛ وإذا تم إهمال تركيز الجزء الغير قابل للتحلل البيولوجي والجزء الذائب القابل للتحلل في المياه المعالجة ثانويا وإعتبار المواد الصلبة العالقة فيها غير ذات قيمة يمكن الحصول على المعادلة التالية (A8)

$$C_{COD, IAT} = S_{COD, inert, EST} + X_{COD, SP} + OV \text{ mg/L} \quad (A8)$$

وفي حالة العمر الطويل للحماة يمكن إفتراض تحويل الحبيبات القابلة للتحلل البيولوجي ($X_{COD, deg, IAT}$) كما يحدث للمواد الذائبة القابلة للتحلل ($S_{COD, deg, IAT}$). ويتم إهمال الزيادة الطفيفة COD الخامل والمواد الصلبة الغير عضوية نتيجة التحلل البيولوجي .

1-5-2 (ب) حساب إنتاجية الحماة Sludge production calculations

الحماة الناتجة كأكسيجين كيميائي ($X_{COD, SP}$) COD, مستهلك تتكون من حبيبات COD الداخلة مع المياه الخام و تركيز الأكسيجين الكيميائي المستهلك للكتلة الحيوية biomass الكتلة الحيوية ($X_{COD, BM}$) المتكونة والمتبقية من التحلل الذاتي للكتلة الحيوية

$$X_{COD, SP} = X_{COD, inert, IAT} + X_{COD, BM} + X_{COD, inert, BM} \text{ mg/L} \quad (A9)$$

لتكوين الحماة والتحلل الذاتي endogenous decay للكتلة الحيوية يتم تطبيق العلاقات التالية) (A10 , A11, A12

$$X_{COD, BM} = (C_{COD, deg, IAT} * Y) - (X_{COD, BM} * t_{ss} * b * F_T) \text{ mg/L} \quad (A10)$$

$$X_{COD, BM} = C_{COD, deg, IAT} * Y * \frac{1}{1 + b * t_{ss} * F_T} \text{ mg/L} \quad (A11)$$

$$F_T = 1.072^{(T-15)} \quad (A12)$$

$$F_T = 1.072^{(T-15)} = 1.072^{(32-15)} = 3.27$$

$$F_T = 1.072^{(T-15)} = 1.072^{(27-15)} = 2.303$$

عامل الإنتاجية $Y = 0.67 \text{ g COD/g COD}_{deg}$ ومعامل التحلل $b = 0.17 \text{ d}^{-1}$ عند 15°C في عملية الحمأة النشطة كما أن نسبة المواد الصلبة الخاملة المتبقية من عملية التحلل تمثل 20% من الكتلة الحيوية المتحللة ومن ثم :

* عند درجة حرارة 32°C يكون

$$X_{\text{COD, BM}} = 662.67 \text{ mg/L} * 0.67 \text{ g} * \frac{1}{1+0.17\text{d}*8.81*3.27} = 75.29 \text{ mg/L}$$

$$X_{\text{COD, inert, BM}} = 0.2 * X_{\text{COD, BM}} * t_{\text{ss}} * b * F_T \text{ mg/L} \quad (\text{A13})$$

$$X_{\text{COD, inert, BM}} = 0.2 * 75.29 \text{ mg/L} * 0.17 \text{ d} * 8.81 * 3.27 = 73.75 \text{ mg/L}$$

$$X_{\text{COD, SP}} = X_{\text{COD, inert, IAT}} + X_{\text{COD, BM}} + X_{\text{COD, inert, BM}} \text{ mg/L}$$

$$X_{\text{COD, SP}} = 72.33 \text{ mg/L} + 75.29 \text{ mg/L} + 73.75 \text{ mg/L} = 221.37 \text{ mg/L}$$

وتكون كتلة المواد الصلبة $X_{\text{COD, SP}}$ COD 80% مواد عضوية ؛ وإذا أعتدنا نسبة قدرها **1.45** g COD/g SS وأخذنا في الإعتبار المواد المرشحة الغير عضوية للمياه الداخلة لحوض التهوية $X_{\text{inorgSS, IAT}}$ يمكن الحصول على إنتاجية الحمأة من الكربون من المعادلة (A14) بناء على COD كالتالي:

$$SP_{dc} = Q_d * \left(\frac{X_{\text{COD, SP}}}{0.8 * 1.45} + X_{\text{inorgSS IAT}} \right) / 1000 \text{ kg SS/d} \quad (\text{A14})$$

$$SP_{dc@32} = 209187 \text{ m}^3/\text{d} * \left(\frac{221.37 \text{ mg/L}}{0.8 * 1.45} + 108 \text{ mg/L} \right) / 1000 \text{ kg SS/d}$$

$$SP_{dc@32} = 62512 \text{ DSkg/d}$$

أو

$$SP_{dc} = Q_d * \left(\frac{X_{COD,SP}}{0.8 * 1.45} + B * X_{SSIAT} \right) / 1000 \text{ kg SS/d} \quad (A15)$$

حيث أن لمياه الصرف الخام $B = 0.3$

$$SP_{dc@32} = 209287 \text{ m}^3/\text{d} * \left(\frac{221.37 \text{ mg/L}}{0.8 * 1.45} + 0.3 * 450 \text{ mg/L} \right) / 1000 \text{ kg SS/d}$$

$$SP_{dc@32} = 68160 \text{ kg/d}$$

* عند درجة حرارة $27C^0$ يكون

$$X_{COD,BM} = 662.67 \text{ mg/L} * 0.67 \text{ g} * \frac{1}{1 + 0.17d * 8.81 * 2.303} = 99.8 \text{ mg/L}$$

$$X_{COD,inert,BM} = 0.2 * X_{COD,BM} * t_{ss} * b * F_T \text{ mg/L} \quad (A13)$$

$$X_{COD,inert,BM} = 0.2 * 72.29 \text{ mg/L} * 0.17d * 8.81 * 2.303 = 49.86 \text{ mg/L}$$

$$X_{COD,SP} = X_{COD,inert,IAT} + X_{COD,BM} + X_{COD,inert,BM} \text{ mg/L}$$

$$X_{COD,SP} = 72.33 \text{ mg/L} + 99.80 \text{ mg/L} + 49.86 \text{ mg/L} = 222 \text{ mg/L}$$

وتكون كتلة المواد الصلبة (X_{COD,SP}) COD 80% مواد عضوية ؛ وإذا أعتدنا نسبة قدرها **1.45 g COD/g SS** وأخذنا في الإعتبار المواد المرشحة الغير عضوية للمياه الداخلة لحوض التهوية X_{inorgSS,IAT} يمكن الحصول على إنتاجية الحمأة من الكربون من المعادلة (A14) بناء على COD كالتالي :

$$SP_{dc}=Q_d * \left(\frac{X_{COD,SP}}{0.8*1.45} + X_{inorgSS IAT} \right) / 1000 \text{ kg SS/d} \quad (A14)$$

$$SP_{dc@27} = 209287 \text{ m}^3/\text{d} * \left(\frac{222 \text{ mg/L}}{0.8*1.45} + 108 \text{ mg/L} \right) / 1000 \text{ kg SS/d}$$

$$SP_{dc@27} = 62626 \text{ kg DS/d}$$

$$SP_{dc}=Q_d * \left(\frac{X_{COD,SP}}{0.8*1.45} + B * X_{SSIAT} \right) / 1000 \text{ kg SS/d} \quad (A15)$$

حيث أن لمياه الصرف الخام **B = 0.3**

$$SP_{dc@27} = 209187 \text{ m}^3/\text{d} * \left(\frac{222 \text{ mg/L}}{0.8*1.45} + 0.3 * 450 \text{ mg/L} \right) / 1000 \text{ kg SS/d}$$

$$SP_{dc@27} = 68274 \text{ kg/d}$$

أو

*الإنتاجية الكلية للحماة بناء على COD عند درجة حرارة $27C^0$ بدون إزالة وإنتاجية للحماة للفوسفور هي
: **62626 DSkg/d**

*الإنتاجية الكلية للحماة بناء على COD عند درجة حرارة $32C^0$ بدون إزالة وإنتاجية للحماة للفوسفور هي
68274 (DSkg/d)

2-5-3 ثانيا إنتاجية الحماة طبقا للأوكسيجين الحيوي الممتص to biochemical oxygen demand

تنتج الحماة من المواد العضوية التي تم تحللها واكسدتها بواسطة النشاط البكتيري حيث استخدم جزء منها في النمو والحصول على الطاقة والجزء الآخر تحول لخلايا حية جديدة تمثل الكتلة الحيوية وأيضا تنتج حماة نتيجة العمليات الحيوية الخاصة بإزالة الفوسفور .

إنتاجية الحماة من الأوكسدة الحيوية للمواد العضوية الكربونية تعطى بالمعادلة التالية طبقا للمواصفات الألمانية وطبقا للحمل العضوي معبرا عنه $B_{d,BOD}$:

$$SP_{d,C} = B_{d,BOD} * [0.75 + (0.6 * \frac{X_{MLSS,iAT}}{C_{BOD,iAT}}) - (\frac{(1-b) * 0.17 * 0.75 * t_{MLSS} * F_T}{1 + (0.17 * t_{SS} * F_T)})] \text{ (kg/d)}$$

$$F_T = 1.072^{(T-15)} = 1.072^{(32-15)} = \mathbf{3.27}$$

$$F_T = 1.072^{(T-15)} = 1.072^{(27-15)} = \mathbf{2.303}$$

حيث (b) الكتلة الحيوية الناتجة من البكتيريا المتحللة cell debris وهي تساوي $b=0.2$

$$SP_{d,C@32} = 73216 * [0.75 + (0.6 * \frac{435}{342}) - (\frac{(1-0.20) * 0.17 * 0.75 * 8.81 * 3.27}{1 + (0.17 * 8.81 * 3.27)})] \text{ (kg/d)}$$

$$SP_{d,C@32} = 73216 * [1.51 - 0.49] = \mathbf{74680 \text{ (kg DS/d)}}$$

$$SP_{d,C@27} = 72786 * [0.75 + (0.6 * \frac{435}{342}) - (\frac{(1-0.20) * 0.17 * 0.75 * 8.81 * 2.303}{1 + (0.17 * 8.81 * 2.303)})]$$

$$SP_{d,C@27} = 73216 * [1.51 - 0.47] = 76145 \text{ (kg DS/d)}$$

حيث $B_{d,BOD}$ هو الحمل التصميمي للأوكسجين الحيوي الممتص و $X_{MLSS,ZB}$ تركيز المواد الصلبة العالقة الداخلة لحوض التهوية و تركيز الأوكسجين الحيوي الممتص في مدخل الحوض $C_{BOD,ZB}$ و معامل التحلل الذاتي $k_d = 0.17d^{-1}$ ونسبة المواد العضوية القابلة للتحلل أو الأوكسدة البيولوجية 75% ومعامل الحرارة للتنفس الذاتي أو الداخلي F_T عند أعلى درجة حرارة للمياه الخام ويعطى بالعلاقة

*الإنتاجية الكلية للحماة بناء على BOD عند درجة حرارة $27C^0$ بدون إزالة وإنتاجية للحماة للفوسفور هي
76145 (kg DS/d)

*الإنتاجية الكلية للحماة بناء على BOD عند درجة حرارة $32C^0$ بدون إزالة وإنتاجية للحماة للفوسفور هي
74680 (kg DS/d)

وهذا يعني أن $1 \text{ kg MLSS} / 1 \text{ kg BOD}$ لكل 1 كجم من حمل الأوكسجين الحيوي الممتص ينتج 1 كجم من الكتلة الحيوية

4-5-2 الكتلة الحيوية المطلوبة في حوض التهوية Required biomass in the aeration tanks

الكتلة الحيوية التي تتراكم في حوض التهوية M_{MLSSAT} في فترة عمر الحماة t_{MLSS} هي حاصل ضرب عمر الحماة باليوم في إنتاجية الحماة في اليوم الواحد الناتجة من الكربون $SP_{d,C}$ بإهمال الحماة الناتجة من الفوسفور لأنه يوجد حوض خاص بالفوسفور يحتجز كمية من الحماة ولم يتم إدخاله في الحسابات .

$$M_{MLSSAT} = t_{MLSS} * SP_{d,C\&P}$$

$$M_{MLSSAT} = 8.81d * 76145 \text{ (kg DS/d)} = 670838 \text{ kg DS}$$

5-2-5 حجم أحواض التهوية المطلوب required aeration tanks volume

ينتج حجم مساحة التهوية من كتلة الحمأة التي تتجمع خلال فترة عمر الحمأة وحجم الحمأة بالحوض أو الأحواض ؛ فإذا إعتبرنا تركيز المواد الصلبة العالقة للمزيج المتخمر المطلوب بالأحواض هو 3.60 kg/m^3 فإن المواد الصلبة العالقة الطيارة $\text{MLVSS} = 3.1 \text{ kg/m}^3$ حجم مساحة التهوية ستكون :

$$V_{BB} = \frac{M_{MLSSAT}}{MLSS_{AT}}$$

$$V_{BB} = \frac{8.81d * 76145 (\text{kgDS/d}) (\text{kg DS/d})}{3.60 \text{ kg/m}^3} = \frac{666895 \text{ kgDS}}{3.60 \text{ kg/m}^3} = 186344 \text{ m}^3$$

يمكن حساب حجم التهوية الكلي أيضا من العلاقة التالية بعد تحديد نسبة F/M المرغوب فيها ؛ فمثلا بفرض أن النسبة $F/M_{BOD} = 0.11 \text{ kg BOD/kg MLSS/day}$ فإن الحجم الكلي للتهوية :

$$V_{BB} = \frac{B_{d,BOD}}{\frac{F}{M} * MLSS_{AT}} = \frac{76145 \text{ kgDS/d}}{0.11 * 3.60 \text{ kg/m}^3} = 192285 \text{ m}^3$$

تم تصميم عدد 8 أحواض بنظام الكاروسيل مقسمة لمجموعتين كل مجموعة تضم أربعة أحواض بحجم 23891 m^3 للحوض الواحد وبالتالي يكون الحجم الفعلي الذي تم تنفيذه والموجود لأحواض التهوية 191126 m^3

الجدول التالي يلخص معايير التشغيل الرئيسية في كل من التشغيل بطريقة النترية العكسية الموازية (أو المتزامنة) وطريقة النترية العكسية القبلية :

Parameters	Operation mode	
	Simultaneous denitrification	Pre-denitrification
Safety factors	1.45	1.45
Sludge age	8.81d	8.81d
To nitrify -N	7554 kg/d	7554 kg/d
SNO ₃ D/CBOD,ZB	0.124	0.124
VD/VBB	0.37	0.27
Total sludge production	75697 kg DS/d	75697 kgDS/d
AT volume for sludge age	186344 m ³	186344 m ³

حجم منطقة النترتة العكسية المطلوب في حالة النترتة المتزامنة $0.50 \leq$ و $0.37 \geq$ وللنترتة القبلية 0.27 من حجم التهوية الكلي وبالتالي يكون الحجم اللازم للنترتة العكسية هو النترتة المتزامنة \leq و $\geq 66600 m^3$ و $90000m^3$ وللنترتة القبلية 48600 من حجم التهوية الكلي

2-5-6 تصريف مضخات إعادة التدوير للنترتة القبلية recirculation pumps capacity for pre-denitrification

في حال تشغيل المحطة بطريقة النترتة العكسية المسبق يجب تشغيل مضخات إعادة التدوير من المنطقة الهوائية بأحواض التهوية oxic zone إلى منطقة النترتة العكسية anoxic zone ؛ يتوقف تصريف المضخات على نسبة النترتة العكسية المستهدفة (درجة إزالة النيتروجين) والتي منها يتم تحديد نسبة إعادة التدوير والتي يعبر عنها بالمعادلة التالية:

$$R_z = \frac{n}{1-n}$$

حيث R_z هي نسبة إعادة التدوير و n النسبة المئوية لكفاءة نزع النترتة المستهدف ويتم حسابها من العلاقة التالية :

$$n = \frac{[C_{N,iAT} - S_{org N,EST} - S_{NH_4,EST} - X_{org N,BM}]}{[C_{N,iAT} - S_{org N,EST} - S_{NH_4,EST} - S_{NO_3,EST} - X_{org N,BM}]} = \frac{[58.4 - 2 - 0 - 12.30]}{[58.4 - 2 - 0 - 8 - 12.30]} = \frac{28.1}{36.10} = 0.78$$

$$R_z = \frac{0.78}{1-0.78} = 3.55$$

كمية الحمأة المفترض إعادة تدويرها إذا كانت نسبة رجوع الحمأة من أحوض الترسيب لأحواض التهوية هي 75% يتم حسابها من العلاقة (بالأخذ بالإعتبار تصريف المحطة وإضافته لمتوسط التدفق اليومي) :

Amount of recycled sludge = $(3.55-0.75)*209287 \text{ m}^3/\text{d}$

Amount of recycled sludge = **586004 m³/d**

Amount of recycled sludge = **24417 m³/hr**

تصرف المضخات اللازمة يساوي معدل تدوير الخليط المتخمر 24417 m³/hr فإذا تم إختيار ثلاث

مضخات لإعادة التدوير يجب أن يكون تصرف المضخة الواحدة **8139 m³/hr**

تم تزويد المحطة بأربعة مضخات تصرف المضخة الواحدة **5000 m³/hr** تعمل ثلاثة منها والرابعة إحتياطية .

$$SF = \frac{5000 \text{ m}^3/\text{hr}}{8139 \text{ m}^3/\text{hr}} = 0.6$$

2-5-7 تصميم نظام التهوية Design of aeration system

الأكسجين اللازم للعمليات البيولوجية يستخدم في التنفس الخلوي الذاتي وأكسدة المواد العضوية وعملية النترة بينما توفر عملية النترة العكسية بعض الأكسجين .

*الأكسجين الممتص في عمليات التنفس الخلوي الذاتي وعمليات أكسدة المواد العضوية عند أقصى درجة حرارة للمياه الخام بالمحطة وهي 32 °C درجة مئوية :

$$OV_{d,c} = B_{d,BOD} * \left(0.56 + \frac{0.15 * t_{MLSS} * F_T}{1 + 0.17 * t_{MLSS} * F_T} \right) = (\text{kg O}_2/\text{d})$$

حيث $B_{d,BOD}$ حمل الأكسجين الحيوي الممتص في اليوم و t_{MLSS} عمر الحمأة و F_T عامل تصحيح درجة الحرارة للتنفس الخلوي الذاتي

$$F_T = 1.072^{(T-15)} = 1.072^{(32-15)} = 3.27$$

$$OV_{d,c} =$$

$$75697 \text{ kg/d} * \left(0.56 + \frac{4.32}{5.897} \right)$$

$$OV_{d,c} = 75697 \text{ kg/d} * (0.56 + \frac{0.15*8.81*3.27}{1+0.17*8.81*3.27}) = \mathbf{97844 \text{ (kg O}_2\text{/d)}}$$

*الأكسجين الممتص في عملية النترتة :

$$OV_{d,N} = Q_d * 4.30 * \frac{S_{NO3,D} - S_{NO3,AT} + S_{NO3,AN}}{1000} = (\text{kg O}_2\text{/d})$$

حيث Q_d هو التدفق اليومي للطقس الجاف و $S_{NO3,D}$ تركيز النترات التي ستخضع لنزع نترتة و $S_{NO3,AT}$ هي تركيز النترات الداخل لحوض التهوية (المياه الخام) وهي تكاد تكون معدومة إلا في بعض حالات مياه الصرف الصناعي أو المياه الجوفية وسيتم إهمالها هنا في الحسابات و $S_{NO3,AN}$ تركيز النترات في المنتج بعد المعالجة الثنائية .

$$OV_{d,N} = 209287 \text{ m}^3\text{/d} * 4.30 * \frac{36.1 - 0 + 8}{1000} = \mathbf{39687 \text{ (kg O}_2\text{/d)}}$$

*الأكسجين المتحرر في عملية النترتة العكسية :

$$OV_{d,D} = Q_d * 2.90 * \frac{S_{NO3,D}}{1000} = (\text{kg O}_2\text{/d})$$

$$OV_{d,D} = 209287 \text{ m}^3\text{/d} * 2.90 * \frac{36.1}{1000} = \mathbf{21910 \text{ (kg O}_2\text{/d)}}$$

8-5-2 أعلى معدل إحتياج للأكسجين Oxygen peak requirements

للإستهلاك الإقتصادي للأكسجين وضعت المواصفة الألمانية عاملان لأختيار النظام الأمثل للتهوية وهما :

* عامل الإحتياج الأقصى للأكسجين للتنفس الخلوي الذاتي وأكسدة المواد العضوية f_c

* عامل الإحتياج الأقصى للأكسجين للنترتة f_N

ولأن التفاعلات الحيوية والعمليات الحيوية تكون بطيئة وتختلف سرعة التفاعلات الحيوية عن بعضها للوصول للحد الأقصى فإنه يلزم حساب الأحمال القصوي لكل عملية على حدة ثم يتم البناء على الأعلى قيمة لأنه سوف يغطي الأقل ؛ وقد تم حساب قيم هذه العوامل عند عمر حمأة $t_{MLSS}=8.81$ وكانت كالتالي :

$f_N = 1.92$ و $f_C = 1.2$ ومن ثم سيكون الإحتياج الأقصى لكل منهما كالتالي :

$$OV_h = \frac{[f_C * (OV_{d,C} - OV_{d,D}) + (OV_{d,N})]}{24} = (\text{kg O}_2/\text{d})$$

$$OV_h, f_C = \frac{[1.2 * (97844 - 21910) \text{ kg} \frac{\text{O}_2}{\text{d}} + 1 * 39687 \text{ kg} \frac{\text{O}_2}{\text{d}}]}{24} = \mathbf{4420 \text{ (kg O}_2/\text{hr)}}$$

$$OV_h = \frac{[(OV_{d,C} - OV_{d,D}) + (f_N * OV_{d,N})]}{24} = (\text{kg O}_2/\text{d})$$

$$OV_h, f_N = \frac{[1 * (97844 - 21910) \text{ kg} \frac{\text{O}_2}{\text{d}} + (1.92 * 39506 \text{ kg} \frac{\text{O}_2}{\text{d}})]}{24} = \mathbf{6324.4 \text{ (kg O}_2/\text{hr)}}$$

2-5-9 مصدر الأوكسجين اللازم Required oxygen supply

طبقا للمواصفة الألمانية الأوكسجين اللازم للتهوية المستمرة يعطى بالعلاقة :

$$\alpha OC = \frac{C_s}{C_s - C_x} * OV_{h, f_N}$$

* حيث C_s هو تشبع الأوكسجين عند درجة حرارة التصميم والضغط الجزئي للغاز ؛ وعند أقصى درجة حرارة

للمعالجة 32°C و ضغط (1.010 mm bar) 760 mm Hg و قيمته في هذه الظروف هي 7.17 mg/l

* و C_x تركيز الأوكسجين في مناطق التهوية oxic zone بحوض التهوية وتساوي 2 mg/l

$$\alpha OC = \frac{7.17}{7.17 - 2} * 6324.4 \text{ (kg O}_2/\text{hr)} = \mathbf{8771 \text{ (kg O}_2/\text{hr)}}$$

السعة الإحتياطية لمتوسط الأوكسجين المطلوب :

$$\text{Average capacity of demand O}_2 = \frac{OV_h, f_N * 24 * 100\%}{(OV_{d,C} - OV_{d,D}) + OV_{d,N}} - 100\%$$

$$\text{Average capacity of demand O}_2 = \frac{6324.4 * 24 * 100\%}{(97844 \frac{\text{O}_2}{\text{d}} - 21910 \frac{\text{O}_2}{\text{d}}) + 39687 \text{ kg} \frac{\text{O}_2}{\text{d}}} - 100 = \mathbf{131\%}$$

10-5-2 حسابات معدات التهوية dimensioning oxygen production equipment

تم تزويد احواض التهوية بناشرات غشائية مسطحة oxyflex MF1100 مثقبة من المطاط ضيقة الثقوب على عمق 6 m بمعدل تدفق للناشر الواحد قدره $11.5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr}$ ؛ يكون حجم الهواء عند الظروف الطبيعية :



وبالأخذ بالإعتبار أن ذوبانية الأكسجين عند $20^{\circ}\text{C} = 9.07$ و عند مستوى البحر لدرجة حرارة $7.33 = 32^{\circ}\text{C}$ و بفرض أن أقل تركيز للأكسجين عند $2\text{mg/L} = 32^{\circ}\text{C}$ ؛ وعامل $\beta = 0.95$ وعامل الإلتساخ للناشرات 0.9 والعمق المركب عليه الناشرات 6m والفقء في الأكسجين من الحوض 19% وارتفاعى المحطة عن سطح تالبحر 580 والجاذبية الأرضية 9.81 m/s^2 وثابت الغاز $M=98.97\text{kg/kg.mole}$ و $R=$ 8314 وعامل $\alpha= 0.6$ و معامل تصحيح درجة الحرارة $1.024^{(32-20)} = 1.33$ ومن كل هذه العوامل نحسب معامل تصحيح الأكسجين فنجد أنه يساوي

$$\text{Required air flow } Q_{\text{air}} = \frac{\alpha OC}{SSA \cdot te \cdot \alpha} 0.494$$

حيث SSA إنتقال الأكسجين القياسي عند الظروف الطبيعية وهو **0.017 kg/Nm³.m**

و te هو العمق الموجود به ناشرات الهواء وهو تصميميا هنا **6 m**

و α هو معامل تصحيح الإنتقال والتأثيرات الهندسية ويساوي **0.65**

$$\text{Required air flow } Q_{\text{air}} = \frac{8771(\text{kg O}_2/\text{hr})}{0.017 \text{ kg/Nm}^3 \cdot \text{m} \times 6 \text{ m} \cdot 0.60} = \mathbf{143317 \text{ kg O}_2/\text{d} = 5972 \text{ kg O}_2/\text{hr}}$$

O₂/hr

الأكسجين المطلوب :

$$\text{Required oxygen capacity} = \frac{5972 \text{ kg O}_2/\text{hr}}{0.494} = \mathbf{12088 \text{ kg O}_2/\text{hr}}$$

يكون حجم الهواء عند أقصى درجة حرارة (323 K) 40⁰C وكفاءة للناشرات 17% عند عمق 6m هو :

$$V_{\text{air}, 40^{\circ}\text{C}} = \frac{12088 \text{ kg O}_2/\text{hr}}{1.056 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 0.232 \text{ kg O}_2/\text{kg air} \times 27\%} = \mathbf{182744.3 \text{ m}^3/\text{hr}}$$

وبفرض إستخدام عدد 10 نوافخ يكون سعة النافخ المطلوبة **18274.43 m³/hr**

تم تزويد المحطة بعدد 12 نافخ هواء يعمل 10 أساسي وعدد 2 إحتياطي سعة الواحد **18000 Nm³/hr**

عند 900 mb بعامل أمان

$$SF = \frac{18000 \text{ m}^3/\text{hr}}{18274.43 \text{ m}^3/\text{hr}} = \mathbf{0.99}$$

11-5-2 حساب كمية ناشرات الهواء اللازمة Required diffusers quantity calculations

ناشرات الهواء الغشائية من نوع oxeflex MF100 مساحة سطحها 0.2m²/difusser وهي تعطي تدفق

هواء 20 m³/hr لكل ناشر

$$V_{\text{air, normal conditions}} = 20 \text{ m}^3/\text{hr} * \frac{273 \text{ K}}{323 \text{ K}} = 16.91 \text{ m}^3 / \text{hr}$$

مساحة سطح ناشرات الهواء الكلي المطلوبة :

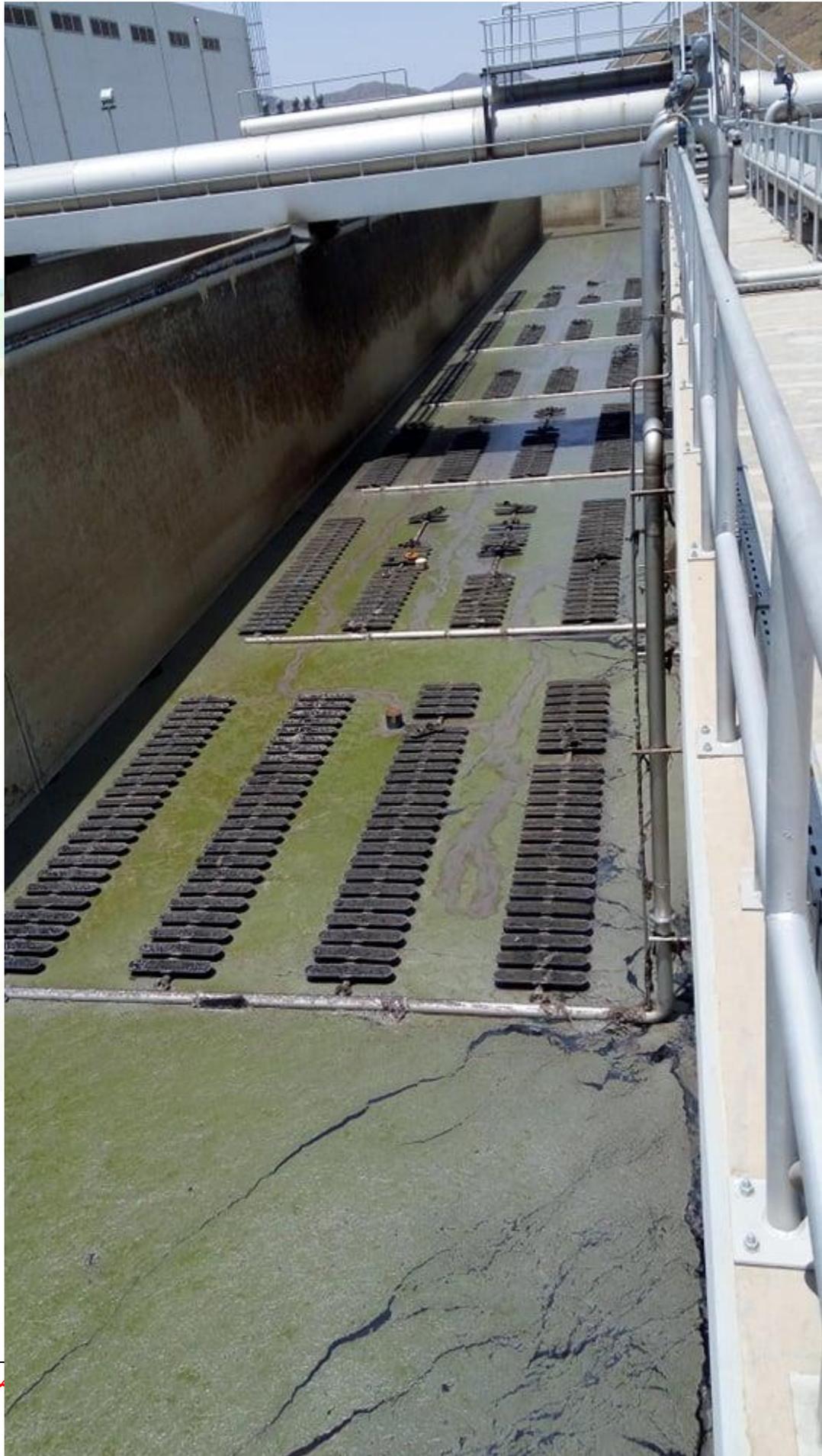
$$\text{Total Diffusers} = \frac{182744.3 \text{ m}^3/\text{hr}}{16.91 \text{ m}^3/\text{hr}} = 10806$$

عدد ناشرات الهواء التي تم تركيبها بالأحواض فعليا 9216 ناشر هواء موزعة على الأحواض والحارات بالتساوي وهي كافية فعليا لأنه سوف تكون هناك حارات تعمل كمنطقة لاهوائية anoxic zone

2-5-12 توزيع الناشرات على الأحواض diffusers distribution on the tanks

تتوزع الناشرات طبقا لأسلوب التشغيل سواء كان نترتة/ نترتة عكسة قبلية أو نترتة/ نترتة عكسية متزامنة وقد تم توزيع ناشرات الهواء على الحارات كلها في كلا حوضي التهوية A&B بالتساوي بحيث يتم غلق محابس الهواء في الحارات التي ستعمل كمنطقة لاهوائية anoxic zone :

$$\text{Diffusers numbers /Lane} = \frac{9216 \text{ diffusers}}{8 \text{ lanes}} = 1152 \text{ diffusers/lane}$$



وعلى أرض الواقع تم تركيب عدد 6 حقول ناشرات هواء في كل قناة وبالتالي يكون في كل حارة lane عدد 12 حقل بكل حقل عدد 4 فرع وبكل فرع 24 ناشر هواء ؛ عدد الناشرات في كل حارة سيكون

$$\text{No. of diffusers/lane} = 12 \times 4 \times 24 = \mathbf{1152}$$

العدد الكلي للناشرات في أحواض التهوية A&B :

$$\text{Total No. of diffusers} = 1152 \times 8 = \mathbf{9216}$$

13-5-2 خلط المزيج المتخمر بأحواض التهوية aeration tank mixed liquor mixing

أحواض التهوية في نظام الكاروسيل عبارة عن حوض ببيضاوي مغلق من الطرفين يشبه حلبة السباق يمكن المزيج المتخمر للمواد الصلبة العالقة MLSS من الدوران بسهولة داخل الحوض وتبقى المواد او الحمأة معلقة في صورة مزيج معلق بفعل ناشرات الهواء التي - بالإضافة لمهمتها الرئيسية وهي توزيع الهواء - تقلب المزيج من أسفل لأعلى وبالتالي نحن بحاجة للقليل من الطاقة للحفاظ على أن تبقى هذه المواد الصلبة معلقة وهنا يأتي دور خلاطات التقليل والدفع الأفقية الغاطسة أحد مهام الخلاطات بأحواض التهوية وعددها في النظام **48 خلاط** ؛ المهمة الثانية للخلاطات هي دفع المزيج لكي يدور حول الحاجز الذي يقسم الحوض لقناتين و نهاية الحوض تكون دائرية ويقسم الحوض لقناتين يفصلهما جدار للفصل بين عمليتي التدوير بالخلاطات فلا يوجد مناطق ساكنة يتوقف فيها المزيج المتخمر للمواد الصلبة .

المهمة الثالثة للخلاطات هي إحداث التلامس الضروري بين ندف الحمأة والمياه الخام التي تدخل للحوض بإستمرار حتى تسهل عملية أكسدة المواد العضوية والغير عضوية المستهدف إزالتها من المياه والمهمة الرابعة هي تحقيق خلط كامل محتوى الحوض للمزيج وتسهيل نقل الأكسجين.

تم إختيار طريقة الخلط المروحي propeller الأفقية والتي تمنع الحمأة من الترسيب في الحوض .

الطاقة اللازمة لعملية الخلط في الأحواض البيضاوية التي تشبه حلبة السباق لنظام الكاروسيل أقل من الطاقة اللازمة في أحواض الخلط الكامل complete mix tank المستطيلة أو المربعة وذلك لأن الفقد في الطاقة نتيجة الإحتكاك أقل بكثير وهذه أحد مميزات الأحواض التي تم تصميمها بنظام الكاروسيل في محطة المدينة الخليل المرحلة الثانية ؛ وتم تركيب الخلاطات قريبا من قاع الحوض .

ولمزيد من الأمان تم عمل حسابات الخاصة بمواصفات الخلاطات على تركيز حمأة كمادة صلبة 0.5% (لاحظ أن تركيز المزيج المتخمر كمادة صلبة 0.36%) .

تم إختيار مواصفات تحقق سرعة تدوير أو دفع للمزيج بواسطة الخلاطات **0.3 m/s** وهي آمنة مقارنة بسرعة التدوير القياسية **0.2 m/s**

الهدف من المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي هو إزالة المواد العضوية والغير عضوية (المركبات العضوية الكربونية والنيتروجينية والأمونيا) والمغذيات (النيتروجين والفسفور) .

تم إنشاء مجموعتين من أحواض التهوية (A1+A2) كل مجموعة عبارة عن أربعة حارات (أحواض) تهوية بنظام الكاروسيل بحجم يناسب متوسط معدل التدفق اليومي الذي يبلغ 200000 متر مكعب وأعلى معدل تدفق والذي يصل الى 300000 متر مكعب لليوم أيضا .

تم إنشاء مجموعتين من أحواض التهوية كل مجموعة عبارة عن أربعة أحواض تهوية بنظام الكاروسيل بحجم يناسب متوسط معدل التدفق اليومي الذي يبلغ 200000 متر مكعب وأعلى معدل تدفق والذي يصل الى 300000 متر مكعب لليوم أيضا .

تم تصميم عدد 8 حارات lanes بنظام الكاروسيل مقسمة لمجموعتين كل مجموعة تضم أربعة حارات بحجم **23891 m³** لكل حارة وبالتالي يكون الحجم الفعلي الذي تم تنفيذه والموجود لأحواض التهوية

191126 m³

تم تزويد المحطة بعدد **12** نافخ هواء يعمل **10** أساسي وعدد **2** احتياطي تصرف الواحد **18000 Nm³/hr** عند **900 mb** هواء توفر الأوكسيجين اللازم للنشاط البكتيري (**التركيز المثالي لنمو وتكاثر البكتيريا لإزالة المواد العضوية الكربونية وأكسدة الأمونيا 2-3mg/L**)

خلطات التقليل والدفع الأفقية الغاطسة أحد مهام الخلطات بأحواض التهوية وعددها في النظام كما تم تزويد الأحواض بعدد **48 خلط** خلط بواقع **6** لكل حوض أو **24** خلط لكل مجموعة (**A1+A2**) لتدوير الخليط المتخمر وبقائه في شكل سائل معلق ومنع ترسب الحمأة وحيث أن سرعة التدوير التي تكفي لبقاء الخليط معلقا هي **0.2 m/s** فقد تم تزويد الأحواض بخلطات تضمن سرعة تدوير **0.3 m/s** في عملية النترة القبلية preceding nitrification/denitrification يتم تدوير **MLSS** أربعة مضخات تصرف المضخة الواحدة **5000 m³/hr** تعمل ثلاثة منها والرابعة احتياطية .
عمر الحمأة التصميمي **sludge age 8.81d** ويسمى أيضا زمن مكث المواد الصلبة solid retention time **SRT**

تركيز المزيج المتخمر للمواد الصلبة العالقة **MLSS = 3600 mg/L**

ينتقل الخليط المكون من مياه الصرف الخام والحمأة النشطة الراجعة من أحواض الترسيب بعد زمن المكث في حوض الإنتقاء اللاهوائي Anaerobic selector tank الى أحواض التهوية وحيث أن محطة المدينة المرحلة الثانية تم تصميم أحواض التهوية بحيث يكون بها مرونة لإجراء أحد ثلاث عمليات تم إختيارها ويمكن تطبيق المزيد من العمليات أيضا عليها بهدف إزالة النيتروجين والعمليات الثلاث التي تم إختيارها هي :

1- عملية باردينفو الخماسية المعدلة المراحل modified 5-stage bardepho : وهو نوع من النترة/

النترة العكسية القبلية preceding nitrification /denitrification وهي تعني ترتيب التالي :

(لاهوائي/anaerobic /لاهوائي anoxic / هوائي oxic / لاهوائي anoxic / هوائي oxic) ؛ وفيها تعمل

الحرارة الأربعة في شكل سلسلة حيث تعمل الحرارة 1&4 كمنطقة لاهوائية anoxic بينما تعمل الحرارة 2&3

كمنطقة هوائية ؛ تدخل المياه الخام الحرارة رقم 1 (لاهوائية anoxic) ثم تنتقل عبر البوابات إلى الحرارة رقم 2

(هوائيةoxic) ثم تنتقل للحارة رقم 3(هوائيةoxic) عبر قناة خارج أحواض التهوية ثم تنتقل عبر البوابات للحارة رقم 4 (لاهوائيةanoxic) ثم تخرج من بوابة الخروج للحوض رقم 4 .

مضخات إعادة التدوير الداخلي موجودة بين الحارة رقم 1&3 ؛ في هذا الأسلوب لتشغيل العملية البيولوجية يتم إعادة التدوير الداخلي للمزيج المتخمر للمواد الصلبة MLSS بواسطة مضخات إعادة التدوير الموجود بالحارة رقم 3 حيث تضخ المائع الغني بالنترات إلى الحارة رقم 1 (لاهوائيةanoxic) حيث تتم عملية النترة العكسية denitrification ويوجد لهذا الغرض 4 مضخات يبلغ تصرف المضخة الواحدة $5000\text{m}^3/\text{hr}$

2-الأسلوب الثاني لتشغيل العملية البيولوجية (A^2O) وهي تعني ترتيب (لاهوائي/anaerobic /لاهوائي anoxic / هوائيoxic) أو ترتيب (لاهوائي/anaerobic /لاهوائيoxic / هوائي anoxic) يعمل كل زوج من الحارات بالتوازي وتكون الحارات رقم 1&3 هوائية(oxic) والحارات 2&4 لاهوائية(anoxic) وفي هذه الحالة تعتبر عملية النترة / النترة العكسية المتزامنة simultaneous nitrification/denitrification .

تدخل المياه الخام للحارة رقم 1&3 هوائية(oxic) ثم تنتقل من الحارة رقم 1 للحارة رقم 2 (anoxic) ومن الحارة رقم 3 للحارة رقم 4 (anoxic) ثم تخرج بعد تمام النترة العكسية من بوابتي الحارة رقم 2&4 في هذا الأسلوب لا يتم استخدام إعادة التدوير بالمضخات .

3-في الأسلوب الثالث يتم تشغيل العملية البيولوجية بحيث تعمل كل حارة بشكل منفصل كحوض مستقل حيث تعمل قناة من الحارة هوائية(oxic) وقناة لاهوائية(anoxic) .

يكون الترتيب (لاهوائي/anaerobic /لاهوائي anoxic / هوائيoxic) أو ترتيب (لاهوائي/anaerobic /لاهوائيoxic / هوائي anoxic / هوائيoxic) .

في هذا الأسلوب لا يتم استخدام إعادة التدوير بالمضخات.

تدخل المياه الخام للحارات الأربعة إلى القناة الهوائية من كل حوض أو اللاهوائية من كل حوض ويحدث التدوير في نفس الحوض بين القناة الهوائية واللاهوائية ثم تخرج من جميع بوابات الحارات الأربعة .
يمكن التحكم في حجم المنطقة اللاهوائية (anoxic) عن طريق قفل وفتح المحابس الفرعية والتي تغذي حقول ناشرات الهواء الموجودة أسفل الحارات .

يوجد بكل حارة عدد 12 حقل من ناشرات الهواء بكل قناة 6 حقول .



الأحواض مزودة ببوابات قفل penstock تفصل كل حوض بحيث يمكن إخراجها من الخدمة للصيانة كما يزود كل حوض ببوابة لتفريغها بشكل كامل ؛ تفصل البوابات أيضا حوض الإنتقاء عن قناة التدوير في حالة تشغيل أسلوب باردنفو الخماسي المعدل للنترة القبلية .

الأحواض مزودة أيضا ببوابات خروج في نهاية الحوض لخروج المزيج المتخمر للمواد الصلبة إلى غرفة التوزيع على أحواض الترسيب النهائي .

مركب على الأحواض أجهزة لقياس ومتابعة تركيز الأكسجين الذائب وجهد الأكسدة والإختزال ORP وتركيز المزيغ المتخمر للمواد الصلبة MLSS كعكارة .

14-5-2 إزالة الكربون الكيموحيوي المطلوب Carbonaceous biochemical oxygen demand removal CBOD

إن فهم سلوك الأحياء الدقيقة في كيفية معالجة مياه الصرف الصحي ضرورة من أجل العمل على أفضل تصميم وتشغيل نظام المعالجة البيولوجية لمياه الصرف الصحي .

من أهم الكائنات الحية الدقيقة التي تقوم بمعالجة مياه الصرف هي على التوالي البكتريا والبروتوزوا والفطريات والطحالب والديدان .

كل الكائنات الحية تحتاج إلى طاقة وغذاء (كربون) ومغذيات (العناصر مثل النيتروجين والفوسفور والحديد...الخ) لكي تتمكن من القيام بوظائفها الحيوية مثل الحركة والنمو والتكاثر .

يمكن تقسيم الكائنات الحية إلى قسمين طبقا لنوع الكربون الذي تستخدمه كمصدر للغذاء ؛ الأول كائنات ذاتية التغذية autotrophic organism وهي التي تستخدم ثاني أكسيد الكربون كمصدر للكربون (تصنع غذائها بنفسها بتحويل الكربون إلى مركبات أكثر تعقيدا) ؛ والثاني كائنات غير ذاتية التغذية heterotrophic organism وهي التي تستخدم المركبات العضوية مصدرا للكربون (تأخذ غذائها جاهزا عبارة عن مركبات عضوية موجودة بالبيئة) .

كما يمكن تقسيمها أيضا بناء على مصدر الطاقة إلى قسمين الأول كائنات ضوئية التغذية phototrophic organism وهي التي تستخدم الضوء كمصدر للطاقة والثاني كيميائية التغذية chemotrophic organism وهي تستخدم المركبات الكيميائية في الحصول على الطاقة ؛ في كل عمليات معالجة مياه الصرف (فيما عدا برك الأكسدة) لا يستطيع الضوء إختراق السائل في الأحواض لدرجة ذات أهمية وبالتالي فإن الكائنات التي تعتمد على الضوء كمصدر للطاقة photoautotrophic & photoheterotrophic

ليست ذات تأثير في عملية المعالجة بالحماة النشطة ؛ بينما تلعب البكتريا ذاتية التغذية التي تستخدم المركبات الكيميائية كمصدر للطاقة chemoautotrophic (مثل البكتريا التي تقوم بعملية النترتة) والبكتريا غير ذاتية التغذية التي تستخدم المركبات الكيميائية للحصول على الطاقة chemoheterotrophic) المسؤولة عن معظم التفاعلات في عملية المعالجة بالحماة النشطة) .

داخل الخلية البكتيرية تحدث التفاعلات الكيموحيوية في عملية تسمى التمثيل الغذائي metabolism وهي تنقسم إلى نوعين من التفاعلات الحيوية

*تفاعلات ينتج منها طاقة نتيجة تكسير للمركبات العضوية وتسمى عدم التمثيل dissimilation أو الهدم catabolism

* تفاعلات ينتج منها بناء أو تخليق خلايا جديدة (النمو) وتسمى التمثيل assimilation أو البناء anabolism وهي تستخدم الطاقة التي تتحرر من التفاعلات السابقة في عملية الهدم .

ببساطة تنمو الكائنات الحية وتتكاثر مقابل الطاقة التي تحصل عليها من عملية الهدم حيث تكون الطاقة مخزنة في صورة مركبات كيميائية عضوية تسمى المواد المتفاعلة substrate حيث تتحرر هذه الطاقة وتتحول الى خلايا في عملية البناء ويكون صافي النمو هو ناتج التوازن بين البناء (الموجب) والهدم (السالب) وفي كلتا الحالتين يحدث التحول الكيميائي من خلال سلسلة متتابعة من التفاعلات يتم تنشيط كل منها بإنزيم خاص ؛ معظم الإنزيمات موجودة داخل الخلية الحية وتسمى الإنزيمات الداخلية intracellular enzyme or endoenzyme ؛ الا أن بعض الإنزيمات تفرزها البكتريا في الخارج وتسمى extracellular enzyme or exoenzyme وهي تفرز في البيئة المحيطة وترجع أهميتها الى تفاعلات التحلل التي تحدث خارج الخلية وهي المسؤولة عن تحويل المركبات كبيرة الحجم والمعقدة الى مركبات بسيطة يمكن أن تمر من خلال غشاء الخلية حيث يتم استهلاكها .

عملية إزالة المواد العضوية من مياه الصرف الصحي (معالجة مياه الصرف الصحي) تحدث من خلال عملية الهدم catabolism وهي تنقسم إلى نوعين:

*الهدم بالتأكسد oxidative catabolism وهي تفاعلات أكسدة واختزال redox يتوفر العامل المؤكسد في البيئة المحيطة (مثل الأوكسيجين والنترات والكبريتات) وهو يؤكسد المواد العضوية

*الهدم بالتخمر fermentative catabolism ولا يوجد بالبيئة عامل مؤكسد ولكنها عملية يتم فيها لإعادة ترتيب اللاإلكترونات في الجزيئات المتخمرة بحيث ينتج منها على الأقل اثنين من النواتج.

إنتاج الطاقة في الخلية يتم طبقا لنوع وطبيعة الكائنات الحية فهو يتم إما عن طريق التنفس respiration) الهدم بالتأكسد) أو التخمر (الهدم بالتخمر) ؛ وعملية التنفس ليست محصورة في العمليات التي تستخدم فيها الخلية الحية الاكسيجين ؛ وعادة في عملية الأوكسدة تفقد المادة التي تم أكسدتها الكترون أو أكثر وتتحول الى حالة تأكسد أعلى وممكن أن تكون مادة عضوية أو غير عضوية وهي في هذه الحالة تكون مانحة للإلكترونات electron donor ؛ تنتقل هذه اللاإلكترونات عبر سلسلة معقدة من التفاعلات الكيموحيوية وبمساعدة الانزيمات الى مركبات غير عضوية أخرى (وتسمى العوامل المؤكسدة) وتسمى مكتسبة للإلكترونات ومن ثم ينخفض حالة أكسدتها .

من أهم مكتسبات اللاإلكترونات والتي تستخدم في عملية التنفس الأوكسيجين (في البيئة الهوائية تمثل غذائي هوائي ينتج منه ماء) والنترات (في البيئة اللاهوائية anoxic ويحدث أثناء اختزال النترات وينتج غاز النيتروجين) والكبريتات وثاني أكسيد الكربون (البيئة اللاهوائية anaerobic تختزل الكبريتات وينتج عنها كبريتيد الهيدروجين بينما يتحول ثاني اكسيد الكربون الى ميثان عبر عملية methanogenesis وهي تتم

بطريقتين الاولى عملية تأكسد يتم الحصول على الميثان من الهيدروجين hydrogenotrophic methanogenesis ويكون فيها ثاني اكسيد الكربون مكتسب للإلكترونات ويختزل الهيدروجين والثاني انتاج

الميثان من الاسيتات acetotrophic methanogenesis حيث يتحول حامض الخليك أو الاسيتات الى ميثان وهذه السلسلة من التفاعلات أهم من الاولي وهي السائدة)

توجد كائنات تتكيف مع مختلف ظروف التنفس وتنقسم الكائنات الحية الى

*كائنات هوائية فقط aerobic وهي تستخدم الاكسيجين الجزيئي في التنفس

*كائنات اختيارية anoxic وهي تفضل الاكسيجين الجزيئي الحر وايضا تستخدم النترات كمكتسب

للإلكترونات

*كائنات لاهوائية تماما anaerobic وتستخدم ثاني اكسيد الكربون والكبريتات كمكتسب للإلكترونات ولا تحصل على الطاقة عبر التنفس الهوائي .

ولأن الطاقة التي تنتج من التفاعلات الهوائية أكبر بكثير من الطاقة الناتجة من التفاعلات اللاهوائية anaerobic فإن الكائنات الهوائية تتكاثر وتعمل على تثبيت المواد العضوية أسرع وأكثر من الكائنات اللاهوائية وبما أن معدل النمو والتكاثر في الكائنات الهوائية أكبر سيكون إنتاج الحمأة أكبر أيضا .

سلسلة التحولات التي تحدث أثناء معالجة مياه الصرف دالة في مكتسبات الإلكترونات وحالة التأكسد للمركبات والتي يتم متابعتها كما سنوضح لاحقا بالكترودات قياس الأوكسدة والاختزال ORP .

حالة التأكسد للمركب تحدد كمية الطاقة القصوى المتاحة فيه فكلما كان المركب أكثر إختزلا كلما كانت كمية الطاقة به كبيرة ؛ والهدف من التمثيل الغذائي هو الحفاظ على الكثير من الطاقة كلما أمكن للخلية ؛ أقصى طاقة متاحة من أكسدة المواد هو الفرق بين محتوى الطاقة (يعطى بحالة التأكسد) ومحتوى الطاقة للمنتج النهائي (يعطى بحالة تأكسد المنتج في نهاية التفاعل) .

*كلما كانت حالة التأكسد للمنتج النهائي كبيرة كلما كانت كمية الطاقة المتحررة كبيرة ؛ الكربون في ثاني أكسيد الكربون في أعلى حالات التأكسد لذلك تفاعلات الأكسدة التي تؤكسد الكربون في المادة تماما لثاني أكسيد الكربون (تنفس هوائي) يتحرر منها طاقة أكثر من التفاعلات التي ينتج منها إيثانول (التخمر) .

*كلما انخفضت حالة التأكسد للمادة Substrate كلما كانت كمية الطاقة المتحررة كبيرة فمثلا أكسدة حامض

الخليك لثاني أكسيد الكربون يتحرر منها طاقة أقل من المتحررة نتيجة تحويل الإيثانول لثاني أكسيد الكربون لأن الكربون في حامض الخليك في حالة تأكسد أعلى من الكربون في الإيثانول .

*ثاني أكسيد الكربون لا يمكن أن يكون مصدرا للطاقة لأن الكربون في أعلى حالة تأكسد له .

تحتوي مياه الصرف المنزلي علي نسبة 100 : 5 : 1 من الكربون والنيتروجين والفوسفور التي تفي بحاجة

الكائنات الدقيقة ؛ وتتواجد المركبات العضوية في مياه الصرف ذائبة و معلقة وحببيات وتستخدم الذائبة

كمصدر للغذاء للكائنات غير ذاتية التغذية في الخليط المتخمّر ؛ حيث يتم امتزاجها وامتصاصها ومساعدتها

علي التنفد واكسدتها بالكائنات الحية ؛ والتهوية لعدة ساعات يحول BOD الي كتلة حيوية وتوجد مهمتين

للهوية الأولى مد الكائنات بالأكسجين والثانية المحافظة علي تهيج الندف للحفاظ علي تلامس كافي بين

الندف ومياه الصرف الخام الداخلة ويجب توفر كمية كافية من الأكسجين لنشاطية الكائنات غير ذاتية

التغذية و ذاتية التغذية بصفة خاصة بكتريا النيترة



يتم أكسدة المركبات العضوية BOD وكذلك أكسدة الأمونيا وتحولها الي نيتريت ثم الي نترات في أحواض

التهوية بالمنطقة التي يتم ضخ الهواء بها عن طريق ناشرات الهواء أسفل الحوض والتي يتم ضخ الهواء لها

عن طريق نوافخ الهواء

يمثل CBOD كل المركبات العضوية المحتوية على كربون في مياه الصرف الخام والتي تستهلك بواسطة

الكائنات الحية وتتكرر ويتم قياسها في صورة BOD ويجب الإشارة هنا ان الأكسجين الحيوي المستهلك في

اختبار الأيام الخمسة (BOD5) يمثل جزء فقط من المواد العضوية الكربونية المتحولة أو المستهلكة في مياه الصرف وهو حوالي 60%-65% من اجمالي CBOD ويتكون BOD من الأوكسجين الحيوي المستهلك الذائب والحبيبات أو الموجود في المواد الصلبة العالقة ؛ يتم استهلاك الجزئ الذائب بسرعة بمجرد تلامسه مع MLSS بواسطة البكتريا بينما يتم ادمصاص الحبيبات على سطح الندف أو الكتلة الحيوية biomass أو الحماة ويتم استهلاكها وتكسيروها بمعدل يعتمد على تركيبها الجزئي وبالتالي يعتمد حجم حوض التهوية على كل من BOD المستهلك ومعدل تكسيروه واستهلاكه .

التركيز العالي من المواد الصلبة الحيوية أو الكتلة الحيوية مرغوب وهذا يفيد في جعل حوض التهوية صغير الحجم الا انه يوجد حد لا يمكن تجاوزه لتركيز الحماة او الكتلة الحيوية بالحوض وذلك طبقا لسعة نقل الأوكسجين الذائب وسعة حوض الترسيب ويمكن استخدام طرق ضخ اكسجين وتكبير حجم حوض الترسيب للتقليل من حجم حوض التهوية ولكن تكاليف العملية يكون أكبر .

عملية نقل الأوكسجين عنصر هام من عناصر كفاءة عملية المعالجة ويجب نقله بمعدل يساوي الإحتياج المطلوب للبكتريا واللازم لأداء مهامها من التمثيل الغذائي والتكاثر ؛ يتم تحديد قيمة متطلب الأوكسجين اللازم للعملية من كل من BOD وقياس النيتروجين اذا كانت العملية مصممة للنترتة وازالة الكربون العضوي يتغير متطلب الأوكسجين الحيوي خلال الزمن والمسافة عبر حوض التهوية وبالتالي يجب ضخ اكسجين كافي اذا كان الهدف الحصول على منتج نهائي جيد ومن اجل تجنب انتقاء كائنات حية غير مرغوب فيها مثل الخيطيات.

تتكون الحماة النشطة المحتوية على الكائنات الحية التي تقوم بعملية المعالجة في ثلاث مراحل مختلفة هي

1-خطوة الإنتقال Transfer step 2- خطوة التحويل Conversion step 3- خطوة التنديف أو

تكوين الندف Flocculation step

أثناء خطوة الإنتقال تنتقل المواد العضوية الذائبة من مياه الصرف الخام الى داخل الخلايا الحية للبكتريا عبر جدار الخلية بينما يتم ادمصاص المواد الصلبة الغير ذائبة من مياه الصرف على سطح جدار الخلايا البكتيرية حيث يتم تكسيرها وتحويلها لمركبات ذائبة ثم امتصاصها ويتم ذلك قبل عمليات التانفس والتخليق البيولوجي التي تقوم به الكائنات الحية أو البكتريا ويتم ذلك كالتالي :

تتلامس المواد الغذائية الموجودة في مياه الصرف بكسولة جدار الخلية البكتيرية (capsular layer (slime layer) الذي يحمي جدار الخلية ويترسب عليه المواد الغذائية ايضا ثم يدخل الغذاء الى جدار الخلية وهو غشاء شبه منفذ ومن ثم الى داخل الخلية مباشرة حيث يتم استهلاكه مباشرة دون اي فعل آخر من الخلية وهذا يسمى (passive transport) أو يتم حمله عبر الغشاء بطريقة تسمى (active transport) ثم تفرز الخلية انزيم البريميز (permease) الذي يخترق الغشاء ويلتصق بالغذاء وهذا يتيح الفرصة للغذاء الذي لم يتمكن من عبور الغشاء ان يستهلك ويعمل هذا الإنزيم كعامل مساعد ولا يتغير اثناء هذه العملية وبمجرد دخول الغذاء لداخل الخلية يترك الإنزيم الغذاء ويعود لجلب المزيد من الغذاء ؛ اذا كانت خلية واحدة لا تستطيع استهلاك الغذاء المنقول لها يتم تمريره من خلية الى اخرى حتى يتم استهلاكه أو يخرج مع المخلفات ولعل هذا هو السبب في وجوب ان يكون نظام المعالجة acclimated وأهمية وجود مجموعة مختلفة ومتنوعة من الكائنات الحية التي تستطيع استهلاك وتكسير المواد العضوية الموجود في مياه الصرف الخام .

2-الخطوة الثانية في العملية وهي التحويل وهذه العملية يتم فيها الكسدة والتخليق وكلا التفاعلين يكون عملية التمثيل الغذائي metabolic process وفي عملية التمثيل الغذائي تتكسر مركبات عضوية وتتكون ايضا مركبات جديدة وتتكون عملية التمثيل الغذائي من عمليتين الأولى تسمى عملية البناء anabolism أو التفاعلات التي يتم بموجبها تخليق مركبات جديدة والثانية هي عملية الهدم catabolism وهي التفاعلات التي يتم بموجبها تكسير المركبات العضوية ؛ المسئول عن تسريع هذه العمليات هو الإنزيم ؛ والإنزيم اما يقوم بعمله داخل الخلية endocellular أو يتم افرازه ليقوم بعمله خارج الخلية exocellular ؛ ولكي تتكاثر الخلايا الحية وتتمو تحتاج لمصدر للطاقة والكربون واذا كانت الخلية تحصل على الكربون من ثاني اكسيد

الكربون فإنها تسمى خلايا ذاتية التغذية autotrophic وإذا كانت تحصل عليه من الكربون العضوي تسمى heterotrophic.

عملية التنفس هي عملية يتم فيها استخلاص الطاقة والحصول عليها من جزيئات عالية الطاقة وتقوم البكتيريا بتخزين الطاقة في صورة مركبات عالية الطاقة مثل ATP في الميتوكوندريا داخل الخلية الحية البكتيرية .

يسمى التفاعل الذي يحدث اثناء عملية التنفس تفاعل الأكسدة- الإختزال

تفاعل الأكسدة في وجود الكائنات لحية كالتالي :



تفاعل التخليق في وجود الكائنات الحية ايضا كالتالي :



ويعبر عن التنفس الداخلي للخلية للحصول على الطاقة كالتالي :



كمية غذاء الطاقة المستخدم للطاقة لمقابل التخليق في تفاعلات التخليق يعتمد على تركيب المواد الغذائية ؛ في مياه الصرف الصحي المنزلي ثلث كمية المواد الغذائية أو المواد العضوية ينتج منها طاقة بينما يتحول الثلثين الى كائنات خلايا جديدة وبالتالي في عمليات تخليق خلايا حية جديدة نجد ان :



(Note: 1.0 kg BOD₅ = 1.42 kg BOD_u)

Endogenous respiration reaction وفي عمليات التنفس الداخلي للخلية الحية للحصول على الطاقة

1.0 kg cells \longrightarrow 0.8 kg O₂ uptake + 0.2 kg O₂ cell residue

حيث :

$C_5H_7NO_2$ (cells) (MW=160) + 5O₂ (MW=113) \longrightarrow 5CO₂ + 2H₂O + NH₃

أي أنه :

$160/113 = 1.42$ kg O₂/kg SS

ويمكن اجمال الأكسجين اللازم والخلايا الحية الناتجة في الجدول التالي :

process	Oxygen Required (kg O ₂ /kg BOD ₅ removed)	Solids Production (kg SS/kg BOD ₅ removed)
Synthesis Endogenous	0.5	0.7
Respiration	1.3	0.14

يجب ان تستهلك البكتريا المواد العضوية بقدر الإمكان ولا بد من تكوين مواد صلبة تتفصل بسهولة عن المياه و قابلة للترسيب في أحواض الترسيب الثانوية او النهائية

3-الخطوة الثالثة في عملية الحماة النشطة هي عملية التثديف او تكوين الندف ؛ تتكون الندف مواد متبلمرة عديدة الخلايا مثل السكريات polysaccharides العديدة بواسطة الخلايا الحية كلما زاد عمر الخلية والتي تحيط بعد تكوينها بالخلية الحية أو الخلية البيكتيرية وتغلفها مما يسهل التصاق العديد من الخلايا مع بعضها مكونة الندف ؛ واذا زاد عمر الخلية تموت وتتكسر الندف وتلتصق بخلايا جديدة إلا انه اذا كانت الندف تحتوي على العديد من الخلايا الميتة (عمر الخلية كبير ادى لموت معظم او كل الخلايا البكتيرية) فإن

الندف تكون سيئة فتتكسر ولا تتكون ندف مرة أخرى بالتصاقها مع خلايا جديدة وتشتت معطية محلول غير رائق أو منتج ثانوي غير رائق ؛ اما اذا كان النمو الخلوي البيكتيري سريع جدا (عمر الخلية أو عمر الحماة صغير جدا) فإن مساحة سطح الخية يزيد أكثر من مقدرة الخلية لتغطي نفسها بالجزئيات المتبلمرة عديدة الجزئيات slime وبالتالي لا تلتصق الخلايا البكتيرية المفردة مع بعضها ويكون كثافة الندف منخفضة وتجز جزئيات مياه بينها ولا تتكون ندف بالحجم المناسب لترسيب في احواض الترسيب الثانوي ومن ثم ينتج محلول غير رائق وبالتالي يوجد عمر حماة مثالي يجب الوصول اليه ويمكن تقدير العمر المثالي للحماة بعمل رسم بياني بين مؤشر حجم الحماة SVI وعمر الخلية .

برسم منحنى النمو البيكتيري يتضح انه يمر بخمس أطوار أو مراحل مختلفة

*طور أو مرحلة التكيف Adaptation (Lag) Phase وهو جزء من المنحنى يمثل الفترة الزمنية اللازمة للكائنات الحية لكي تأقلم نفسها على المواد الغذائية الموجودة في مياه الصرف ؛ اعداد البيكتيريا في هذه المرحلة لا تتزايد ويحدث ازاحة ناحية اصناف من البيكتيريا القادرة على استهلاك المواد العضوية

*طور أو مرحلة النمو Log Growth Phase بمجرد ان تتكيف البيكتيريا فإنه فقط عدد من الكائنات الدقيقة تحدد معدل النمو ولأن البيكتيريا تنقسم بطريقة الإنقسام الثنائي يسمى النمو اللوغاريتمي ويكون الغذاء ليس هو العامل المحدد للنمو في هذا الطور لأن كمية الغذاء تكون كافية لكل خلية موجودة ان تنقسم وتخلق خلية جديدة لها غذاء موجود بالفعل

*طور أو مرحلة الإنكاس Declining Growth Phase وفيه يكون الغذاء عامل محدد للنمو لأنه لن يكون لكل خلية جديدة غذاء متوفر

*طور أو مرحلة الثبات Maximum Stationary Phase يكون الغذاء المتوفر كافي فقط للحفاظ على الكتلة الحيوية من الخلايا الحية عند مستوى ثابت فقط ومعدل نمو يساوي صفر لعدم وجود غذاء سوى لهذه النسبة الثابتة

*طور موت الخلايا أو التحلل الذاتي Endogenous (Cell Death) Phase وفيه يكون الغذاء غير كافي للحفاظ على نسبة ثابتة من الكتلة الحيوية وبالتالي تضطر الخلايا الحية للتغذية على نفسها او على بعضها وتستهلك البروتوبلازم .

تتم عملية المعالجة البيولوجية نتيجة للنشاط الحيوي للكائنات الدقيقة الموجودة في مياه الصرف الصحي وببساطة شديدة دون التفاصيل فإن البكتريا التي تتواجد في الحمأة النشطة المستخدمة في عملية الحمأة النشطة يمكن تقسيمها إلى:

1-بكتريا ذاتية التغذية autotrophs وهي البكتريا التي تستخدم الكربون الغير عضوي كمصدر للكربون (مثل ثاني أكسيد الكربون) في عملية النمو والتكاثر ومن أمثلتها البكتريا التي تقوم بأكسدة الأمونيا الى نيتريت (بكتريا النيتروزوموناس) في الخطوة الأولى من عملية النترة nitrification ومعدل نمو هذه البكتريا سريع وهي تستخدم الأكسجين الجزيئي كمكسب نهائي أو أخير للإلكترونات في تفاعلاتها وبالتالي يمكن القول ايضا أنها بكتريا هوائية لا تنشط إلا في وجود الأكسجين الجزيئي ؛ ومن أمثلتها أيضا (بكتريا النيتروباكتريا) وهي المسؤولة عن الخطوة الثانية في عملية النترة حيث تؤكسد النيتريت إلى نترات في وجود الأكسجين الجزيئي أيضا ولكنها بطيئة النمو عكس السابقة وتحتاج وقت طويل للنمو والتكاثر ويكون التفاعل الحاصل في هذه الحالة تفاعل هوائي aerobic والبكتريا بكتريا هوائية وكذلك تسمى البيئة بالبيئة الهوائية aerobic or oxic أي أن الحوض التي تتم فيه هذه العملية بشقيها أحواض التهوية وإزالة الكربون العضوي من مياه الصرف CBOD البكتريا التي تقوم بعملية اختزال النترات وإزالة النيتروجين في عملية denitrification وهي العملية المكتملة لعملية النترة لإزالة النيتروجين من مياه الصرف ويسمى التفاعل تفاعل لا هوائي إذا تم في غياب الأكسجين الجزيئي حيث يتم استخدام هذه البكتريا وتنميتها في بيئة لاهوائية (anoxic) و البيئة اللاهوائية تنقسم إلى قسمين لاهوائية ليس بها أكسجين جزيئي O₂ ولكن بها مركبات تحتوي على الأكسجين مثل النترات NO₃ وتسمى anoxic zone والثانية بيئة لاهوائية لا تحتوي على أكسجين جزيئي ولا مركبات تحتوي على أكسجين وتسمى (anaerobic zone) يتم توفير anoxic

zone) عن طريق قفل محابس الهواء في الحوض رقم (1) تماما وجعل الحوض منطقة لاهوائية في حال النترة المسبقة أو تشغيل قناة من كل حوض كمنطقة هوائية والقناة الثانية كمنطقة لاهوائية في حال النترة المتزامنه وذلك لإتاحة الفرصة للبكتريا غير ذاتية التغذية باختزال المركبات المحتوية على الأكسجين وفي غياب الأكسجين الجزئي مثل النترات وبالتالي حدوث عملية نزع النترة denitrification وإزالة النيتروجين حيث تختزل النترات الى نيتروجين جزئي لا يذوب في الماء ويتصاعد كغاز الى الهواء الجوي.

بينما يتم توفير البيئة اللاهوائية (anaerobic) لتنمية بكتريا الاثينيتوباكتر Acinetobacter وغيرها من الأصناف المسؤولة عن تجميع الفسفور والتخلص منه وإزالته (ومن أمثلة البكتريا المجمعة للفسفور أيضا acumulibacter , microlunatus , phosphovorus , lampropedia , tetasphera japonica , agrobacterium , aquaspirillum , cytophagoflavobacteria)

البكتريا غير ذاتية التغذية هي أيضا المسؤولة عن أكسدة المواد العضوية وإزالة الكربون العضوي من مياه الصرف CBOD ولا يمكن أن تتم عملية إزالة النيتروجين ولا الفسفور بكفأه إلا في وجود كمية مناسبة من الكربون العضوي في مياه الصرف وبالتالي فإن محتوى المياه من الكربون العضوي هام للعمليات على السواء.

من خلال الشرح المبسط المختصر السابق نخلص إلى أنه لا بد لإزالة النيتروجين والفسفات والكربون لعضوي من مياه الصرف توفير ثلاث أنواع من الأحواض بمحطات المعالجة التي تهدف للتخلص من الكربون العضوي والمغذيات (النيتروجين والفسفور) وهي أحواض هوائية بها أكسجين جزئي aerobic or oxic وأحواض لاهوائية لا يوجد بها أكسجين جزئي ولكن يمكن أن يتواجد بها مركبات تحتوي على الأكسجين أو أكسجين مرتبط مثل النترات anoxic وأحواض لاهوائية لا يوجد بها لا أكسجين جزئي ولا أكسجين مرتبط anaerobic والأنواع الثلاثة من الأحواض تم تصميمها بمحطة معالجة مياه الصرف الصحي ببنوع .

ومن أصناف البكتريا التي تقوم بعملية نزع النترة denitrification

Achromobacter, Acinetobacter, Agrobacterium, Alcaligenes, Arthrobacter, Bacillus, Chromobacterium, Corynebacterium, Flavobacterium, Hypomicrobium, Moraxella, Neisseria, Paracoccus, Propionibacteria, Pseudomonas, Rhizobium, Rhodopseudomonas, Spirillum and Vibrio

بينما يتم توفير البيئة anaerobic لتنمية بكتريا الاتشينتوباكتر Acinetobacter المسؤولة عن تجميع الفسفور والتخلص منه وإزالته (ومن أمثلة البكتريا المجمعة للفسفور أيضا acumulibacter ,microbunatus ,phosphovorus ,lampropedia ,tetasphera japonica, agrobacterium ,aquaspirillum , cytophagoflavobacteria)

2-البكتريا غير ذاتية التغذية هي أيضا المسؤولة عن أكسدة المواد العضوية وإزالة الكربون العضوي من مياه الصرف CBOD ولا يمكن أن تتم عملية إزالة النيتروجين ولا الفسفور بكفأه إلا في وجود كمية مناسبة من الكربون العضوي في مياه الصرف وبالتالي فإن محتوى المياه من الكربون العضوي هام للعمليتين على السواء .

توجد عناصر ضرورية مهمة لعملية التغذية للكائنات الحية وهي العناصر الأكثرية وتشمل كربون وهيدروجين واكسجين وفوسفور ونيتروجين وعناصر الأقلية وتشمل كبريت وبوتاسيوم وصوديوم وكالسيوم وماغنسيوم وكلور وعناصر نادرة وهي حديد ومنجنيز وكوبالت ونحاس وبورون وزنك وموليبيدينوم والومنيوم أما عوامل النمو تشمل الفيتامينات والأحماض الأمينية وكل هذه العناصر الضرورية موجودة في مياه الصرف المنزلي ؛ والقاعدة العامة تقول اننا نحتاج الى 5 كجم من النيتروجين وكيلوجرام واحد من الفسفور من أجل إزالة 100 كجم من BOD ؛ الكائنات الحية تنقسم الى

* هوائية aerobic تستخدم الأكسجين الجزيئي كمكسب للإلكترونات في التنفس الهوائي المنتج النهائي يكون مياه

organics + bacteria + O₂ → more bacteria + CO₂ + H₂O + end products

* كائنات لا هوائية اختيارية facultative تستخدم الأوكسيجن الجزئي والمرتبط حسب الظروف مثل (النترات)
(anoxic) كمكتسب للإلكترونات في غياب الأوكسيجين والمنتج النهائي

Organics + combined O₂ + bacteria → more bacteria + CO₂ + H₂O + end products

* لا هوائية لا تستخدم الأوكسيجين الجزئي ولا المرتبط ولا يحدث أكسدة من خلال تفاعلاتها

ولكن يحدث تخمر للمركبات العضوية (anaerobic) وتنتج الميثان والأمونيا وكبريتيد الهيدروجين .

تتغذى الكائنات الحية بطريقة الضغط الأسموزي وبالتالي فإن الضغط الأسموزي الذي يعتمد على تركيز الأملاح لابد ان يكون في الحدود التي تسمح للبكتريا ان تتغذي ؛ معظم انواع البكتريا لا تتأثر بتركيز الأملاح بين 500 ملجم/ل - 35000 ملجم/لتر بشرط تواجد الأوكسيجين بتركيز 2-3 ملجم/ل والخلط الجيد يجعل البكتريا في تلامس دائم وجيد مع الغذاء وبالتالي يحافظ على حيوية ونشاط البكتريا.

معظم البكتريا الموجودة في مياه الصرف اختيارية يمكنها العيش في الظروف الهوائية واللاهوائية ايضا .

البكتريا المكونة للندف تكون ندف متماسكة تترسب بشكل جيد ؛ البكتريا الخيطية تتواجد في شكل مفتوح أو متشابك ولا بد من تواجد نسبة صغيرة معقولة منها للمساعدة في تكوين ندف بحجم وشكل مناسب للترسيب حيث تعمل الخيطيات كعمود فقري يجمع الندف الصغيرة جدا ليكون منها ندف ملائمة للترسيب .

زيادة نسبة البكتريا الخيطية يؤدي الى تضخم الحماة حيث تتشكل شبكات من البكتريا الخيطية تحمل ندف كثيرة جدا تحتوي فيما بينها هواء واحيانا نيتروجين في حال حدوث نزع نترتة denitrification وتتصاعد على سطح الحوض ويحدث ذلك اذا كانت التهوية في حوض التهوية اقل من 0.5 ملجم/ل اوكسيجين أو في حوض الترسيب اذا زاد سمك غطاء الحماة وعمر الحماة حيث تتوفر البيئة المناسبة لنمو بكتريا نزع النترتة .

تتنافس كل من بكتريا تكوين الندف والبكتريا الخيطية على الغذاء (الكربون العضوي) والأكسجين والمغذيات (النيتروجين والفوسفور والحديد) ولكنها تختلف في طريقة التمثيل الغذائي لها فالنسبة لبكتريا تكوين الندف تحتاج وقت قصير ونسبة عالية من الغذاء اما الخيطيات تحتاج وجبات متتالية من الغذاء القليل ؛ كما ان بكتريا تكوين الندف تفضل البيئة الهوائية و احيانا التنوع بين الهوائية واللاهوائية المحتوية على اكسجين مرتبط anaerobic بينما الخيطيات بعضها يفضل نسبة منخفضة جدا من الأكسجين مثل البيئة اللاهوائية anoxic وبعضها هوائي لأنها أيضا بكتريا اختيارية .

الفطريات كائنات متعددة لا ضوئية التخليق وغير ذاتية التغذية تحتاج اكسجين حر وتسود في البيئة منخفضة النيتروجين ومنخفضة الأكسجين أو كلاهما وتنمو جيدا عند دجة حموضة اقل من $PH < 6$ الطحالب كائنات متعددة الخلايا ووحيدة الخلية ايضا ذاتية التغذية وضوئية التخليق



تم تصميم أحواض التهوية بمحطة المدينة المرحلة الثانية بحيث تكون مناسبة لعملية أكسدة الأمونيا أو النترة وعملية إزالة النيتروجين بثلاث طرق وهي عملية النترة العكسية بثلاث أساليب تم شرحها أعلاه ؛ وقبل الخوض في تفاصيل كيفية تشغيل المحطة بالطرق الثلاثة سنتعرف على ماهية عمليتي النترة والنترة العكسية ثم نفصل الفرق بين النترة / النترة العكسية القبلية و النترة / النترة العكسية المتزامنة .

في البداية نؤكد على حقيقة هامة وهي أن عملية النترة العكسية ليست عكس النترة كما يبدو من التسمية ولكنها عملية مكمل للنترة الهدف منها إزالة النيتروجين حيث يتم أكسدة الامونيا في النترة الى نيتريت ثم الى نترات ثم في عملية نزع النترة تتم عملية ازالة النيتروجين بإختزال النترات الى غاز النيتروجين كما سنوضح

1-2-6 عملية النترة Nitrification processes

عملية أكسدة الأمونيا الى نترات تتم بواسطة البكتريا ذاتية التغذية autotrophic bacteria في خطوتين حيث تحصل بكتريا إكسدة الأمونيا على الطاقة بأكسدة الأمونيا NH_3 الى نيتريت NO_2 وتحصل بكتريا أكسدة النيتريت على طاقتها من اكسدة النيتريت الى نترات NO_3 ؛ هذه التفاعلات ينتج منها القليل من الطاقة ولذلك يكون نمو البكتريا المسؤولة عن النترة nitrifiers بطيء وعددها في الحماة صغير لذلك يتم تصميم المحطات التي تعمل على النترة بزمان مكث كبير HDT وعمر حماة كبير SRT يضمن عدم ازالة هذه البكتريا مع الحماة الزائدة التي يمكن ان تزال من النظام وايضا لتوفير الزمن اللازم لنمو اعداد مناسبة من هذه البكتريا لتتمكن من القيام بعملها .

وتحتاج عملية النترة تقريبا 4.6 ملجم/ل أكسيجين لكل ملجم نيتروجين-أمونيا يتم اكسدته ؛ تركيز الأكسيجن الذائب في MLSS يؤثر على معدل عملية النترة حيث يتناقص معدل النترة مع نقص الأكسيجين الذائب)

تركيز الأكسجين المناسب لحدوث نترتة 2-3 ملجم/ل) ومعدل النمو المثالي لبكتريا النترتة عند درجة حموض pH 6.5-8 وأثناء النترتة ينتج حامض النيتريك وينخفض درجة الحموضة وإذا لم توجد نسبة كافية من القلوية ينخفض درجة الحموضة لحد يتوقف أو تتباطئ معه النترتة ؛ لكل 1 ملجم نيتروجين - امونيا يتم اكسدته يستهلك 7.1 ملجم قلوية ككربونات كالسيوم (CaCO3) ولذلك يفضل ان يكون تركيز القلوية المتبقية 50-100 ملجم/ل ككربونات كالسيوم لضمان عملية نترتة ثابتة ؛ يمكن اضافة قلوية اذا لزم الأمر كما في بعض محطات معالجة مياه الصرف باضافة الجير او كربونات الصوديوم او هيدروكسيد الماغنسيوم .

تتأثر النترتة بدرجة الحرارة حيث تقل بنقص درجة الحرارة وبالتالي في المناطق الباردة يجب زيادة زمن مكث الخلية MCRT لتوفير الزمن اللازم للنمو للبكتريا بينما في المناطق الحارة يمكن ان تتم النترتة ؛ في المناطق الدافئة يكون MCRT 3 يوم او اقل بينما في المناطق الباردة يكون 25 يوم أو أكثر ؛ تتم ازالة اكثر من 90% من النيتروجين في عملية النترتة كما يكون تركيز النيتروجين في المنتج الثانوي اقل من 1 ملجم/ل لكن محطة ينبع يكون الجو دافئ معظم ايام العام .

2-6-2 النترتة العكسية Denitrification

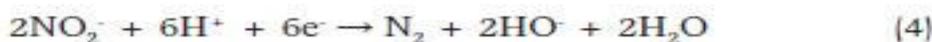
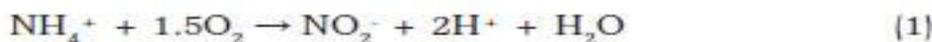
هي عملية تتم في خطوة واحدة تختزل فيها النترات وتتحول الى غازات النيتروجين (النيتروجين واكسيد النيتروجين والنيتروز ..الخ) تتم هذه العملية بواسطة بكتريا غير ذاتية التغذية heterotrophic وهي ايضا بكتريا اختيارية تستخدم الأكسجين الجزيئي أو المرتبط كمكتسب اخير للإلكترونات وبالتالي لكي تتم عملية النترتة لابد ان تحدث في غياب الأكسجين الجزيئي حتى لا يكون هناك مصدر للأكسجين سوى الأكسجين المرتبط أو النترات فلا تجد البكتريا سواه كمكتسب للإلكترونات اثناء عملية ازالة النيتروجين ؛ تم تصميم منطقة لاهوائية anoxic zone في حوض التهوية لهذا الغرض وهذا في طريقة النترتة / النترتة العكسية المتزامنة أيضا تم تخصيص الحوض رقم (1) الموجود يتوسط الحوضين 2؛3 بحيث يخدم كمنطقة لاهوائية anoxic zone في حالة العمل بطريقة النترتة/ النترتة العكسية السابقة حيث يتم اعادة الخليط المتخمر

MLSS وعمل تدوير له من الحوض رقم 3 الى الحوض رقم (1) باستخدام مضخات التدوير التي صممت لتدوير 240 من معدل التدفق الوارد للمحطة وتم تزويد الحوض بأربعة مضخات سعة المضخة 2500 متر مكعب / ساعة ؛ ينتقل الخليط المتخمر المحتوي على النترات الى الحوض اللاهوائي ويسمى خط تدوير الخليط mixed liquor recycle MLR

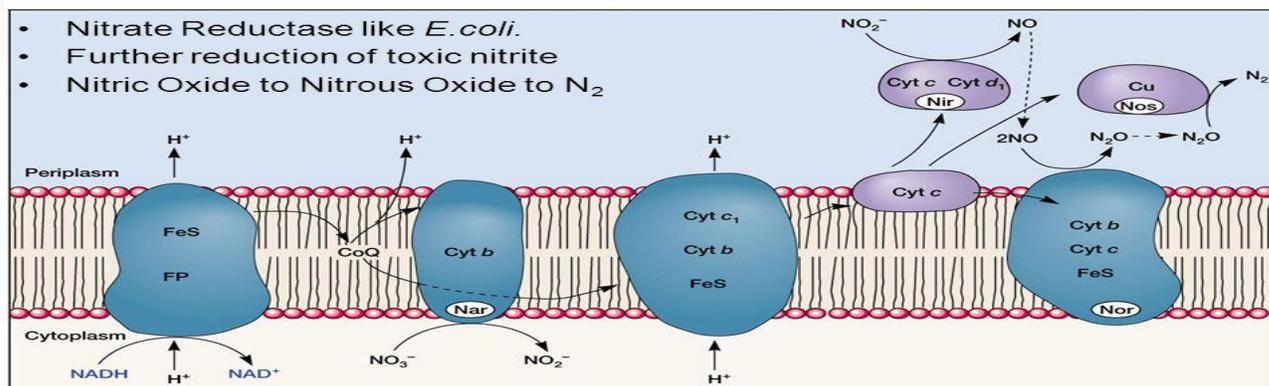
تتأثر العملية بدرجة الحرارة فتنقص بإنخفاض درجة الحرارة وفي البيئات الباردة يجب ضبط MCRT لتحقيق عملية ناجحة ؛ ينتج من العملية قلوية قدرها 3.6 ملج/ل CaCO_3 / 1 ملجم نيتروجين - نترات يتم اختزاله ؛ العملية تخفض الإحتياج الكلي للأوكسجين ونظريا 2.86 كجم أوكسجين كافيه لكل 1 كجم نيتروجين - نترات يتم اختزاله.

ومن أصناف البكتريا التي تقوم بعملية denitrification

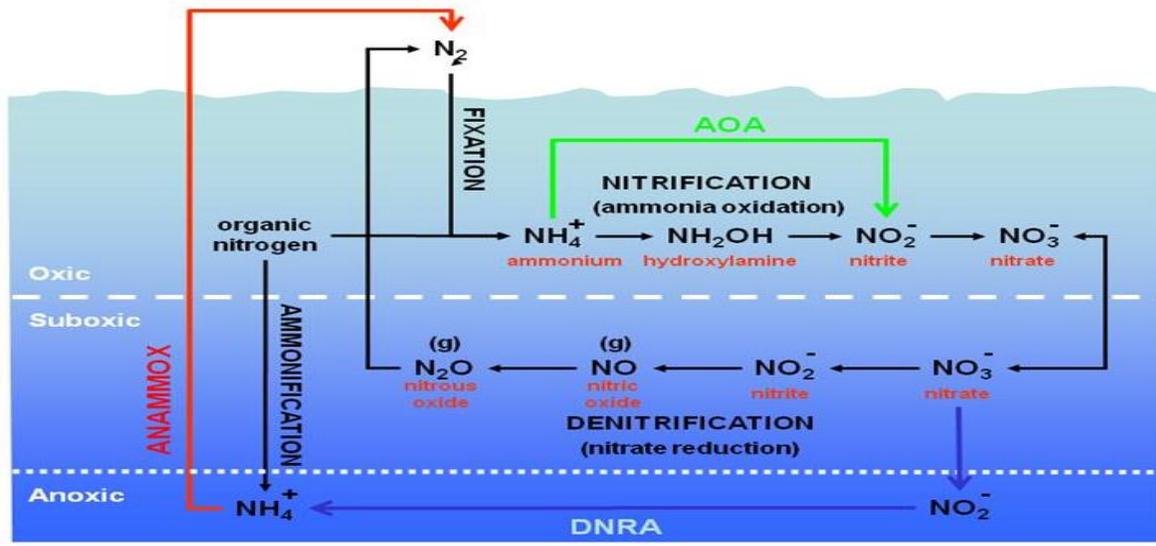
Achromobacter, Acinetobacter, Agrobacterium, Alcaligenes, Arthrobacter, Bacillus, Chromobacterium, Corynebacterium, Flavobacterium, Hypomicrobium, Moraxella, Neisseria, Paracoccus, Propionibacteria, Pseudomonas, Rhizobium, Rhodopseudomonas, Spirillum and Vibrio



E.g. *Paracoccus denitrificans*; facultative anaerobe Denitrification (nitrate to N-gases)



آلية النترنة العكسية denitrification mechanism



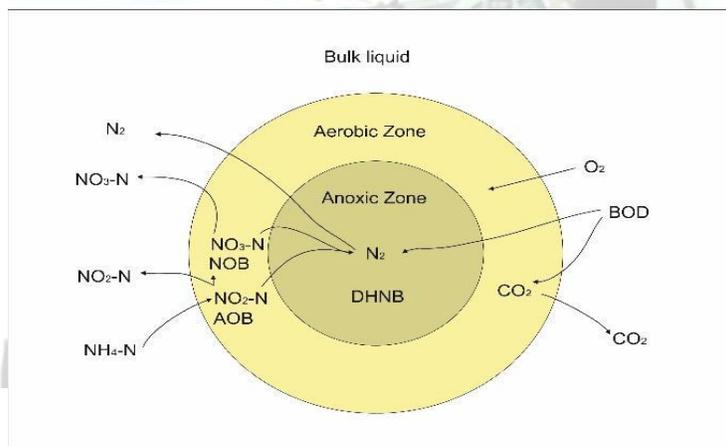
عملية النترنة/ النترنة العكسية (إزالة النيتروجين) nitrification denitrification process (nitrogen removal)

تتكاثر البكتريا في أحواض التهوية حيث يتوفر الغذاء والأكسجين اللازم للنمو والتكاثر وتبدأ في تكوين الندف من البكتريا وباقي الكائنات الحية مثل البروتوزوا والخلايا الميتة والمواد الصلبة العالقة العضوية والغير عضوية وتكون الندف صغيرة الحجم وتستطيع هذه الندف امتصاص 40% من BOD الذائب والغير ذائب ويتراوح حجم الندف من 5-500 ميكرومتر تتجمع الندف الصغيرة وتلتصق بالخيوط التي تتواجد بأعداد محدودة والتي تفرز مواد سكرية معقدة تكون كبسولة حول الخلية البكتيرية الخيطية أو طبقة جيلاتينية كما تفرز البروتوزوا أيضا مواد مخاطية لزجة تساعد على التصاق الخلايا البكتيرية وغيرها من المواد العضوية الغير ذائبة والخلايا الحية والميتة بالندف ؛ تلتصق البكتريا الصانعة للندف بهذه الطبقة مع الكائنات الحية الأخرى والمواد العضوية والخلايا الميتة والحية مكونة ندف بحجم مناسب للترسيب ويتوقف حجم الندف على عدد الخيوط فإذا كانت الخيوط معدومة ستظل البكتريا المكونة للندف مشتتة مكونة ندف دبوسية صغيرة تنتشر في بيئة حوض التهوية ومن ثم في حوض الترسيب تظل معلقة وتخرج مع المياه المروقة مما يقلل من جودة المنتج الثانوي ويتسبب في انسداد المرشحات أما إذا كانت اعداد الخيوط كثيرة جدا فإن ذلك سوف يؤدي الى تكوين ندف ذات تركيب مفتوح حيث تتراكم وتزداد كمية الندف الصغيرة على الخيوط وتتشابك

الخيوطات بمزيد من الخيوطات مما يؤدي الى تضخم الحمأة حيث تحتجز الندف المياه بين الندف بسبب عدم انضغاط الندف بالشكل المطلوب ويزيد مساحة سطح الندف وتطفو على سطح حوض التهوية والمرووق الثانوي وتخرج مع المياه المرووقة ؛ اذا لابد من التحكم في نسبة الخيوطات الموجودة ويتم ذلك من خلال حوض الإنتقاء اللاهوائي كما ذكرنا آنفا.

ومن هذا نستخلص أنه اذا سادت الخلايا البكتيرية المكونة للندف بحيث أصبحت أكثر بكثير من الخيوطات سيؤدي ذلك الى تكوين ندف ضعيفة غير صلبة سهلة التكسير وصغيرة الحجم مشتتة صعبة الترسيب تسمى الندف الدبوسية pin-point floc أما اذا حدث توازن بين البكتريا الخيطية والبكتريا المكونة للندف ستتكون ندف بحجم مناسب مضغوطة تترسب بسهولة وأخيرا اذا سادت البكتريا الخيطية فسوف يتكون ندف ذات تركيب مفتوح تتشابك فيه الخيوطات ويحدث تضخم للحمأة وطفوها على سطح الأحواض .

يكون الأكسجين ذو تركيز عالي عند سطح الندفة ويقل تدريجيا كلما اتجهنا لداخل الندفة وينعدم في مركزها وبالتالي يتوفر بيئة هوائية عند سطح الندفة وبيئة لاهوائية في الطبقات التالية القريبة من سطح الندفة anaerobic zone ثم بيئة لاهوائية anoxic zone



شكل يبين ميكانيكية حدوث نزع النترتة داخل الندف في عملية نزع النترتة المتزامن

وهذا يفسر كيفية حدوث النترتة العكسية داخل الندف في عملية النترتة العكسية المتزامنة

بالإضافة الى البكتريا يوجد ثلاث أنواع من البروتوزوا مهمة لعملية المعالجة ويعطي تواجدها أو عدمه مؤشر على جودة المعالجة من عدمه وهي الأميبات والسوطيات والهدبيات ؛ تتواجد الأميبا بكثرة عند مدخل حوض التهوية وعندما يكون عمر الحمأة صغير تكون هي السائدة بين أنواع البروتوزوا ووجودها بكثرة يدل على أن الترسيب سيكون ضعيف والندف ستكون ضعيفة وبزيادة عمر الحمأة تقل أعداد البروتوزوا حتى تصل الى 16/1 من العدد الكلي للبروتوزوا وتبدأ السوطيات في التكاثر بينما يكون الحمل العضوي مازال كبيرا والترسيب لم يتحسن كثيرا وبزيادة عمر الحمأة يتحسن الترسيب قليلا ويقل أعداد السوطيات الى 8/1 مجموع البروتوزوا المتواجدة ؛ وبزيادة عمر الحمأة تبدأ الهدبيات في التزايد حيث تتكاثر الهدبيات من نوع الحرة العائمة والتي تمثل 3/4 من مجموع البروتوزوا وتتغذي الهدبيات الحرة العائمة على البكتريا وبالتالي تواجدها مؤشر على الوصول الى أعلى جودة للمعالجة حيث يكون الترسيب جيد جدا والمياه رائقة وايضا من انواع الهدبيات ذات السيقان (المسوقة) وهي تتواجد في حالات الترسيب الممتاز والمعالجة المثالية حيث تتشابه مع بعضها لتكون ندف جيدة الترسيب وسوف نتناول شرح دور البروتوزوا بشئ من التفصيل لاحقا عندما نتحدث عن الفحص المجهرى للحمأة النشطة .

يجب أن يكون المشغل حريص على إجراء الفحص المجهرى للحمأة بحوض التهوية وحوض الترسيب لمعرفة ما هو موجود من الكائنات الحية والربط بين إختبار ال 30 دقيقة للترسيب والفحص المجهرى سيعطي بيانات ممتازة عن طبيعة عملية المعالجة وكما سيكون بمثابة إنذار مبكر للمشاكل التي يمكن أن تحدث (مثلا تزايد نمو الخيطيات سيؤدي لمشاكل تضخم الحمأة ومن ثم البحث عن أسباب تزايد الخيطيات وتصحيح الخطأ وسنتناول ذلك بالتفصيل لاحقا عند الحديث عن مشاكل التشغيل وحلولها) فمثلا الترسيب المثالي يحدث حينما يكون حجم الحمأة بالمخبار 500 ملل في غضون 5-10 دقائق من بداية الإختبار مع وجود محلول رائق فوق الحمأة المترسبة كما يكون شكل الندف متماسك

جهد الأكسدة والإختزال هو مؤشر على مقدرة المحلول على أكسدة أو إختزال المواد الأخرى ؛ وكل محتويات المياه لها مقدرة او جهد يكون جهد الأكسدة والإختزال هو مجموع هذه الجهود ويقاس بالمللفولت ؛ وقد يكون ORP ذو قيم سالبة أو موجبة طبقا لنوع التفاعل ما إذا كان تأكسد oxidative أو إختزال reductive ؛ وببساطة يكون ORP سالبا في حالة إنعدام وجود الأكسجين الذائب (الذي تم إختزاله) وبالتالي كلما كانت القيم سالبة بشكل أكبر كلما زاد التعفن في الوسط أو البيئة بسبب نقص الأكسجين الذائب .

كلما كانت المادة أكثر تأكسدا كلما زادت قيم ORP ؛ ونتيجة للتفاعلات الحيوية المختلفة التي تتم أثناء الإزالة البيولوجية للمغذيات يحدث تفاعلات أكسدة وإختزال ويكون لكل أيون أو مركب أو عنصر في المياه أثناء ذلك جهد أكسدة أو إختزال سواء إيجابي أو سلبي ؛ ويكون مجموع هذه الجهود هو جهد الأكسدة والإختزال للوسط أو المياه التي تتم فيها هذه التفاعلات كما ذكرنا وقيمة ORP تقول لنا ما إذا كانت بيئة المياه مؤكسدة oxidative (أي موجبة الملي فولت) أم مختزلة reductive (سالبة الملي فولت) .

أثناء التفاعلات البيولوجية التي تقوم بها البكتيريا في عملية التنفس والأيض والتي ينتج منها في النهاية إزالة المغذيات والكربون من مياه الصرف الصحي تحتاج البكتيريا لإعطاء الكترولونات لمكتسب أخير أو نهائي للإلكترونات ؛ وفي البيئة الهوائية aerobic يكون المكتسب للإلكترونات عامل مؤكسد مثلا جزيئ الأكسجين oxidant ؛ بينما في البيئة اللاهوائية anaerobic يكون المكتسب الأخير للإلكترونات عامل مختزل reductant مثل الكبريتات ؛ ومن هنا يجعلنا ORP نفهم بيئة البكتيريا ؛ فإذا كان المحلول مختزل reductive أي يعطي قراءة سالبة ORP معناه أنه قادر على إعطاء الكترولونات بينما لو كان المحلول مؤكسد oxidative أي يعطي قراءة موجبة ORP معناه أنه قادر على إكتساب الكترولونات وهذه الظروف البيئية تعتبر عامل محدد حرج في نظام الإزالة البيولوجية للمغذيات .

في أنظمة إزالة المغذيات توجد ثلاث أنواع من البيئات التي تتواجد فيها البكتيريا وهي البيئة الهوائية aerobic zone ويمثلها حوض التهوية أو جزء حوض التهوية التي يتم ضخ الأكسجين فيه وهو غني بالأكسجين الجزئي ؛ والبيئة اللاهوائية anoxic zone وهي حوض لاهوائي أو جزء من حوض التهوية لا يتم ضخ الأكسجين له ولكن يتواجد به النتراة ؛ والبيئة اللاهوائية anaerobic zone وهي الحوض اللاهوائي أو حوض التخمر ويشمل حوض الإنتقاء اللاهوائي وحوض إزالة الفوسفور البيولوجي .

تدخل المياه الخام بعد التصفية (أو بعد أحواض الترسيب الإبتدائي في المعالجة التقليدية بالحمأة النشطة) لحوض التخمر اللاهوائي anaerobic حيث تنشط بكتيريا تجميع الفوسفور PAO's وتحدث سلسلة من التفاعلات الكيموحيوية شرحناها في موضعها في أكثر من مكان بالكتاب ؛ ثم تنتقل المياه للبيئة الهوائية aerobic أو حوض التهوية حيث يتواجد الأكسجين الجزئي لتكمل بكتيريا تجميع الفوسفات باقي نشاطها في عملية إزالة الفوسفور وفي نفس البيئة تنشط أيضا البكتيريا غير ذاتية التغذية التي تؤكسد المركبات العضوية والبكتيريا ذاتية التغذية التي تؤكسد الأمونيا وقد شرحناها بالتفصيل كل في موضعه ؛ تنتقل المياه بعد ذلك للبيئة اللاهوائية anoxic لأكمل عملية إزالة النيتروجين .

يجب تركيب حساس قراءة ORP في مكان يمثل الحوض كله وأفضل مكان له هو **منتصف** الحوض وبعمق يمثل $\frac{1}{4}$ من عمق المياه بالحوض ؛ ويجب تركيب حساس على كل منطقة سواء كانت هوائية أو لاهوائية على حدة حتى لو تعددت المناطق أو الأحواض .

تتأثر قراءة ORP بكمية إعادة تدوير الخليط المتخمر المحتوي على النتراة في البيئة anoxic وكمية الأكسجين بها أثناء التدوير الداخلي ؛ وكمية المياه المتدفقة من المياه الخام إلى البيئة اللاهوائية anaerobic وأيضا كمية المزيج المتدفق من حوض التخمر اللاهوائي إلى حوض التهوية aerobic وكمية تدفق الحمأة الراجعة وتركيز النتراة بها والهواء ؛ والجدول التالي يوضح التفاعلات الأساسية التي تحدث أثناء عملية معالجة مياه الصرف وقيمتها .

Biochemical Reaction	ORP mV
Nitrification	+100 to +300
Aerobic BOD removal	+50 to +250
Denitrification	+50 to -50
Sulfide Formation	-50 to -250
Orthophosphate release	-100 to -250
Organic Acid Formation	-100 to -225
Methane production	-175 to -400

ومن القيم المقاسة الموضحة بالجدول أعلاه يمكن ملاحظة تأثير قيم ORP على التفاعلات المختلفة أثناء عملية المعالجة أو بمعنى آخر دلالة كل قيمة وسوف نتناول العمليات التي تتم أثناء المعالجة وهي :

* عملية النترية : تتم النترية في خطوتين كما ذكرنا في أكثر من موضع حيث تتأكسد الأمونيا إلى نيتريت ثم إلى نترات محولة بذلك الأمونيا لحالة تأكسد عالية ويكون العامل الحرج في عملية النترية هو مستوى التأكسد العالي وتركيز الأوكسيجين الذائب الذي يفضل ان يكون في حدود 1-3 mg/L وتحدث عملية النترية عند قيم من ORP بين (+100 mv to +300 mv) وبالتالي يمكن للمشغل أن يستنتج من خلال قراءة الأجهزة على حوض التهوية ما إذا كانت عملية النترية تتم أم لا .

*إزالة الكربون العضوي أو الأوكسيجين الكيميائي الممتص BOD : على أحواض التهوية ليس مهما جدا تركيب حساس ORP حيث يكون الكترود الأوكسيجين الذائب كافيا لتحديد تركيز الأوكسيجين الذائب ؛ وإن وجد ORP على حوض التهوية فيمكن أن يعطي إشارة على وجود حمأة غير نشطة في الحوض إذا كانت قراءة الحساس ORP سالبة وقد يستفاد في هذه الحالة من القراءة على أنها مؤشر على وجود حمأة ميتة غير نشطة ويمكن تأكيد ذلك من خلال نسبة BOD/SOUR ومن ثم هل هناك حاجة لتخريج المزيد من الحمأة او لا لانه دلالة بطريقة غير مباشرة على أن عمر الحمأة كبير إلى حد ما ؛ وتكون قراءة ORP موجبة دائما في حوض التهوية نظرا لتوفر الأوكسيجين ونظرا لعمليات الأوكسدة للمركبات العضوية .

عملية أكسدة المواد العضوية والتي يعبر عنها BOD بهدف التخلص منها بتحويلها من خلال الأكسدة البيولوجية التي تقوم بها البكتيريا إلى ثاني أكسيد الكربون وماء وخلايا حية جديدة كمنتج نهائي تحتاج لبيئة هوائية أو توفير الأوكسجين الجزيئي كمنتسب أخير للإلكترونات كما ذكرنا في غير موضع بالكتاب ؛ وتتم هذه العملية عند قيم من ORP بين (+50 mv to +250 mv)

*النترة العكسية : يتم فيها تحويل النترات لغاز النيتروجين وخلايا جديدة وبذلك نكون قد تخلصنا من النيتروجين ؛ وحيث أنه من الأنسب للبكتيريا من ناحية الطاقة إستخدام الأوكسجين الجزيئي فلكي تتم هذه العملية يجب أن يكون تركيز الأوكسجين الجزيئي منعدم في هذه البيئة ومن ثم تضطر البكتيريا لإستخدام الأوكسجين المرتبط أو المركب مثل النترات والكبريتات وتقوم البكتيريا بإستخدام مصدر الكربون من BOD والأوكسجين من النترات ؛ وفي البيئة اللاهوائية anoxic والتي تتأثر بمعدل إعادة التدوير للمزيج المتخمر للمواد الصلبة العالقة MLSS من حوض التهوية إليها كما تتأثر بتدفق المياه الخام بعد مرورها على حوض التخمر لإزالة الفوسفور بيولوجيا عادة يكون ORP بين (-50 mv to +50 mv) ويجب أن نلاحظ أنه بالرغم من ان هذه العملية تتم في البيئة اللاهوائية Anoxic إلا أنه في البيئة الهوائية أيضا يمكن أن تتم النترة العكسية بدرجة أقل بسبب أن هذه البيئة تتوفر في عمق الندف عند القيم الموجبة المنخفضة لجهد الأوكسدة والإختزال ORP أو بمعنى آخر عند إنخفاض تركيز الأوكسجين الذائب حيث تكون كمية الأوكسجين التي تخترق عمق الندف قليلة ويبقى عمق الندف بدون أوكسجين جزيئي.

*تكوين الكبريتيد : بمجرد إنتهاء الأوكسجين الجزيئي والنترات (احد صور الأوكسجين المركب) تماما تبدأ البكتيريا في إستخدام الأوكسجين المركب والموجود في الكبريتات وتختزله إلى كبريتيد في صورة غاز كبريتيد الهيدروجين وهو غاز خطير على الإنسان وتستخدم البكتيريا المسببة لمشاكل تضخم الحمأة ومنع ترسيبها كمصدر للطاقة أثناء عملياتها الحيوية ؛ ومن أنواع هذه البكتيريا كما ذكرنا في غير موضع thiothrix I&II و Beggiatoa و type 021N و type 0914 ؛ ويكون كبريتيد الهيدروجين عند قيمة الرقم الهيدروجيني $PH < 7$ وتركيز لكبريتيد الهيدروجين قدره 1mg/L أو أكثر يكون الغاز ساما للبكتيريا الصانعة للندف وعند قيمة الرقم الهيدروجيني $PH = 8$ لا يكون الغاز ساما للبكتيريا الصانعة للندف إلا إذا كان تركيز كبريتيد

الهيدروجين في الوسط أعلى من 100mg/L ؛ ويتم تكوين الكبريتيد عند قيم من ORP بين (-50 mv to -250 mv) .

*تحرر الأروثوفوسفات : في حوض التخمر اللاهوائي لإزالة الفوسفور يحتاج إلى ORP سلبي قوي لتكسير روابط الفوسفور عالية الطاقة ؛ ليتوفر معطي إلكترونات بكميات كافية يمكن بكتيريا تجميع الفوسفور PAO's من التنفس .

العملية البيولوجية المحسنة لإزالة الفوسفور تتم عندما يتم تهيئة البيئة لنمو البكتيريا المجمعة للفوسفور PAO's كما ذكرنا ذلك بالتفصيل في موضعه ؛ تتم العملية على مرحلتين الأولى في بيئة لاهوائية anaerobic والثانية هوائية aerobic ؛ ولكي تتمكن البكتيريا المجمعة للفوسفور PAO's بتحرير الفوسفور في صورة الأروثوفوسفات في البيئة اللاهوائية يجب أن يكون ORP منخفضا بدرجة كافية تمكن البكتيريا من تحرير الأروثوفوسفات المخزن في خلاياها في شكل مركبات عالية الطاقة ATP وتمتص BOD الذائب والذي يكون في صورة أحماض دهنية طيارة وتخزنها في صورة مركبات معقدة من PHB's وعندما تدخل هذه البكتيريا للمنطقة الهوائية تكون قد تميزت بأنها تخزن مركبات PHB's تستخدمها كغذاء مما يجعلها تنافس في هذه الخاصية فتقوم بأكسدة المواد المخزنة وأثناء هذه العملية تجدد مخزونها من الفوسفور عن طريق إمتصاص المزيد من الفوسفور الذائب من البيئة الغنية به حيث لا يشترط لذلك لذلك مرحلة سابقة يتم فيها تجويع البكتيريا وفي هذي العملية التي تسمى الإمتصاص الفاخر Luxury uptake تستطيع البكتيريا إمتصاص كمية من الفوسفور أكبر من تلك التي قد تحررت في البيئة اللاهوائية anaerobic وبالتالي سوف تحتوي هذه البكتيريا المجمعة للفوسفور كمية من الفوسفور في خلاياها أكثر من أنواع البكتيريا الأخرى ؛ أضف لذلك أن أعداد البكتيريا هذه تكون أقل بكثير من البكتيريا الصانعة للندف وبالتالي فإن تخريج الحمأة يكون مؤثرا جدا في إزالة الفوسفور من العملية ؛ تحتاج البكتيريا مصدرا للكربون هو BOD الذائب لإزاحة ORP بين (-100 mv to -250 mv) لكي يتحرر الأروثوفوسفات ؛ ويحرر الأروثوفوسفات في أي بيئة يكون فيها ORP عند هذه القيم وفي أي وقت (يحدث ذلك مثلا في مغلطات الحمأة thickeners وفي الأحواض اللاهوائية anoxic وأحواض الترسيب النهائي إذا وصل لهذه المعدلات)

*تكوين الأحماض العضوية أو الدهنية الطيارة : والمقصود بها الأحماض التي تحتوي على عدد ذرات كربون من 1-5 وهي حامض الخليك والبروبايونك والبيوتاتريك والفاليريك والكابرويك. عملية إزالة المغذيات المحسنة تستلزم تخليق أو تكوين الأحماض العضوية ويحدث ذلك في بيئة لاهوائية anaerobic حيث تقوم بكتيريا التخمر بتحويل المواد العضوية إلى أحماض عضوية وتستلزم هذه العملية بجانب البيئة اللاهوائية هذه قيم منخفضة من ORP بين (-100 mv to -225 mv) ؛ تقوم البكتيريا بامتصاص الأحماض العضوية الذائبة عبر غشاء الخلية البكتيرية ؛ وهذه الأحماض العضوية أو الدهنية هي مصدر الغذاء لبكتيريا تجميع الفوسفور وأيضا بكتيريا النترتة العكسية .

هذه الأحماض هي أيضا غذاء جيد لبكتيريا الزوجليا والبكتيريا الخيطية والتي لا يستحب نموها وتكاثرها أثناء عمليات معالجة مياه الصرف وقد وجد أن تركيز قدره $>100 \text{ mg/L}$ من هذه الأحماض يشجع نمو وتكاثر الخيطيات ويكون سببا في حدوث تضخم الحمأة ؛ ولهذا السبب من المهم إزالة هذه الأحماض في حوض الإنتقاء اللاهوائي anaerobic selector

*تكوين الميثان : الميثان هو منتج نهائي من عملية المعالجة اللاهوائية anaerobic ؛ تنتج بكتيريا تكوين الأحماض الهيدروجين وحامض الخليك والذي تستخدمه بكتيريا تكوين الميثان كغذاء عند قيم منخفضة من ORP بين (-175 mv to -400 mv) من خلال عملية تسمى تخليق الميثان Methanogenesis وهي عملية تكوين الميثان بيولوجيا عن طريق بكتيريا تسمى Methanogens وهي عملية حساسة للرقم الهيدروجيني للبيئة ودرجة الحرارة .

*تم تركيب جهاز لقياس الأكسجين الذائب في نهاية كل حوض وتم ربط الجهاز بالأسكادا كما تم وضع محبس تحكم في ضغط الهواء لكل حوض للتحكم في ضغط الهواء الذي يضح الى الأحواض بحيث يتحكم جهاز قياس الأكسجين الذائب في فتح وقفل أو تقليل كمية الهواء التي تندفع من هذه المحابس طبقا لتركيز الأكسجين الذائب الذي تم ضبط جهاز قياس الأكسجين الذائب عليه وهو 3 - 2 ملجم/ل وبالتالي فإن نافخ

الهواء المستخدم في العملية سوف يعمل بحيث يظل ضغط الهواء بخط الهواء الخاص به عند ضغط ثابت يحقق هذه النسبة من تركيز الأكسجين الذائب .

تم تزويد المحطة بعدد 12 نوافخ متغيرة السرعة سعة الواحد $1800 \text{ Nm}^3/\text{hr}$ تكفي لتوفير الأكسجين اللازم للعملية البيولوجية عند أقصى تدفق للمياه الخام وأعلى تركيز للمزيج المتخمر بالأحواض ؛ عندما يصل النافخ متغير السرعة لأقصى سعة له يوجد احتمالان ؛ الأول تكون كمية الهواء كافية لتوفير تركيز الأكسجين المطلوب بالأحواض والثانية تكون غير كافية .

في حال انخفاض تركيز الأكسجين عن المعدل المطلوب بسبب عدم كفاية كمية الهواء التي يضخها نافخ الهواء قيد التشغيل تمر الإشارة من جهاز قياس الأكسجين الذائب عن طريق الاسكادا الى محبس الهواء الرئيسي على الحوض لكي يزيد نسبة فتح المحبس فإذا استمر انخفاض تركيز الأكسجين فإن عداد قياس الضغط على خط الهواء الرئيسي الذي يكون قياس الضغط به منخفض يعطي أمر لأحد نوافخ الهواء للبدء في العمل وقبلها سوف يتم تقليل سرعة النافخ (متغير السرعة) الى النصف ثم يتم تشغيل أحد النوافخ المساعدة ويتم التوازن بين كمية الهواء المعطاة من النافخ قيد التشغيل مع كمية الهواء التي يوفرها النافخ المطلوب تشغيله حيث تزيد سرعته تدريجياً لتحقيق الضغط المناسب للهواء الذي يوفر تركيز الأكسجين المناسب ؛ إذا وصل النافخ قيد التشغيل الى أقصى سرعه له وحقق سعته 18 الف متر مكعب للساعة مع النافخ المطلوب تشغيله الذي يحقق هو الآخر نفس الكمية من الهواء ولم يزيد تركيز الأكسجين الى التركيز المطلوب فإنه يتم استدعاء نافخ إضافي ثالث حيث تتكرر عملية هبوط سرعة النافخ قيد التشغيل الى النصف حتى ينتهي ادخال النافخ الثالث وبزيادة سرعة النافخ الثالث تدريجياً للحصول على الضغط المناسب الذي يحقق كمية هواء تفي بتزويد الأحواض بتركيز الأكسجين المناسب وهكذا تتكرر العملية كل مرة حتى يتم

تحقيق تركيز الاكسيجين المناسب حتى اذا لزم الأمر تشغيل كل النوافخ الأربعة الثابتة مع النافخ متغير السرعة .

اذا زاد تركيز الأكسجين عن الحد المرغوب فيه يعطي حساس قياس الأكسجين إشارة الى محبس التحكم الرئيسي على الحوض فيتم غلق المحبس تدريجيا لتقليل كمية الهواء حتى يصل لتركيز الاكسيجين المرغوب فيه ومن ثم يزيد ضغط الهواء في الخط الرئيسي فيعطي حساس قياس الضغط الوجود على خط الهواء الرئيسي إشارة لتقليل سرعة نافخ الهواء متغير السرعة حتى يصل لحالة التوازن لتحقيق ضغط مناسب للهواء كافي بتزويد الحوض بكمية هواء تعطي تركيز الاكسيجين المرغوب فيه ؛ اذا وصل سرعة النافخ المتغير السرعة الى النصف وظل تركيز الاكسيجين مرتفع يتم إيقاف أحد نوافخ الهواء المساعدة أو تقليل سرعتها مؤقتا ثم يقوم النافخ قيد التشغيل بالموازنة للوصول الى ضغط الهواء المناسب ؛ واذا ظل تركيز الأكسجين مرتفع تتكرر العملية حتى يصل ضغط الهواء المطلوب

2-8 عمر الحمأة (زمن مكث المواد الصلبة)

Sludge age $t_{MLSS,Bem}$ (Solids retention time SRT)

يتأثر عمر الحمأة (زمن مكث المواد الصلبة) كثيرا بدرجة الحرارة حيث يزيد النشاط البكتيري كلما ارتفعت درجة الحرارة ؛ يبلغ متوسط درجة الحرارة للمياه لمحطة معالجة مياه الصرف المرحلة الثانية في المدينة ينبع 27 درجة مئوية وأقصى درجة حرارة للمياه 32 درجة مئوية .

في عمليات المعالجة بالحمأة المنشطة بطريقة التهوية المطولة يكون عمر الحمأة أكبر من 25 يوم إذا كانت درجات الحرارة أقل من 12 درجة مئوية ؛ ولكن يمكن خفض عمر الحمأة إذا كانت درجات الحرارة خلال إسبوعين متتاليين أكبر من 12 درجة مئوية (طبقا للمواصفات الألمانية أعلاه) ؛ وحيث أن أقل درجة حرارة للمياه بالمحطة خلال العام في المدينة هي $27^{\circ}C$ درجة مئوية وتصل أعلى درجة حرارة خلال الصيف إلى $32^{\circ}C$ درجة مئوية تم التصميم لعمر الحمأة عند درجة حرارة $27^{\circ}C$ درجة مئوية .

وفي تصميم المحطة تم إستهداف هضم للحمأة داخل أحواض التهوية والإستغناء عن أحواض الترسيب الإبتدائي والهواضم وبالتالي فإن عمر الحمأة اللازم كي يتم هضم للحمأة حرارة أو عمر الحمأة في حوض التهوية أو المنطقة الهوائية oxic zone $t_{MLSS,Bem}$ عند درجة $27^{\circ}C$ درجة مئوية هو كالتالي :

$$t_{MLSS,Bem} = 1.072^{(12-T)} * 25d$$

$$t_{MLSS,Bem} = 1.072^{(12-27)} * 25d = 0.352 * 25 d = \mathbf{8.8 d = 9 d}$$

وعند درجة حرارة $32^{\circ}C$ يكون عمر الحمأة :

$$t_{MLSS,Bem} = 1.072^{(12-32)} * 25d = 0.352 * 25 d = \mathbf{6.22 d}$$

عمر الحمأة المحسوب من المعادلة يعطي ضمان لحدوث عملية النتزرة إذا توافر الأكسجين اللازم لها وإذا لم يتواجد تأثيرات سلبية .

ولجودة المياه المعالجة ؛ يتم تقدير عمر الحمأة من خلال المعادلة التالية طبقاً للمواصفات الألمانية للمحطات التي تستهدف إزالة النيتروجين (من خلال عمليتي النترنة/ نزع النترنة) بإستخدام معامل أمان $SF=1.45$ حيث أن إنتاجية الحمأة أكبر من 6000kg/d طبقاً للمواصفة الألمانية و الرقم 3.4 هو معامل تجريبي مشتق من معدل النمو الصافي لبكتيريا النيتروزوموناس عند 15°C وعامل الأمان يأخذ في الإعتبار التغيرات السلبية التي يمكن أن تحدث نتيجة التغير في درجة الحموضة pH ودرجة الحرارة .

عملياً يمكن أن يصل عمر الحمأة إلى 40 يوم لكن أيضاً إنتشار الأكسجين يكون ضعيف إذا وصل تركيز المواد الصلبة العالقة للخليط المتخمر إلى 10000 mg/l

$$t_{SS,aerob\ dim} = SF * 3.4 * 1.103^{(15-T)} * \frac{1}{1 - \left(\frac{V_D}{V_{AT}}\right)} \quad (d)$$

* في حالة إستخدام نسبة $VD/VAT = 37\% = 0.37$ أقل درجة حرارة خلال العام 27°C

$$t_{SS,aerob\ dim} = 1.45 * 3.4 * 1.103^{(15-T)} * \frac{1}{1 - \left(\frac{V_D}{V_{AT}}\right)} \quad (d)$$

$$t_{SS,aerob\ dim} = 1.45 * 3.4 * 1.103^{(15-T)} * \frac{1}{1 - 0.37} \quad (d)$$

$$t_{SS,aerob\ dim} = 1.45 * 3.4 * 0.3084 * 1.587 = 2.413 \quad (d)$$

وعند درجة حرارة 32°C يكون عمر الحمأة :

$$t_{SS,aerob\ dim} = 1.45 * 3.4 * 0.18889 * 1.587 = 1.47786 \quad (d)$$

وبالتالي سيكون عمر الحمأة $t_{MLSS,Bem} = 8.81d = 9d$ مناسب لحدوث نترنة ونزع نترنة وتثبيت للحمأة بحوض التهوية وقد تم إختياره ليكون عمر الحمأة بالمحطة

Parameters	Operation mode	
	Simultaneous denitrification	Pre-denitrification
Safety factors	1.45	1.45
Sludge age	8.81d	8.81d
To nitrify -N	7520 kg/d	7520 kg/d
SNO ₃ D/CBOD,ZB	0.124	0.124
VD/VBB	0.37	0.27
Total sludge production	76145 kg DS/d	76145 kg DS/d
AT volume for sludge age	186444 m³	186444 m³

2-9 تصريف مضخات إعادة التدوير للنترة القبلية - recirculation pumps capacity for pre-denitrification

في حال تشغيل المحطة بطريقة النترة القبلية يجب تشغيل مضخات إعادة التدوير من المنطقة الهوائية بأحواض التهوية إلى أحواض النترة العكسية anoxic zone ؛ تتوقف تصريف المضخات على نسبة النترة المستهدفة والتي منها يتم تحديد نسبة إعادة التدوير والتي يعبر عنها بالمعادلة التالية:

$$R_z = \frac{n}{1-n}$$

حيث R_z هي نسبة إعادة التدوير و n النسبة المئوية لكفاءة نزع النترة المستهدف ويتم حسابها من العلاقة التالية :

$$n = \frac{[C_{NZB} - S_{org N,AN} - S_{NH_4,AN} - X_{org N,BM}]}{[C_{NZB} - S_{org N,AN} - S_{NH_4,AN} - S_{NO_3,AN} - X_{org N,BM}]} = \frac{[58.4 - 2 - 0 - 12.30]}{[58.4 - 2 - 0 - 8 - 12.30]} = \frac{28.1}{36.10} = 0.78$$

$$R_z = \frac{0.78}{1-0.78} = 3.55$$

كمية الحمأة المفترض إعادة تدويرها إذا كانت نسبة رجوع الحمأة من حوض الترسيب لأحواض التهوية هي 78% يتم حسابها من العلاقة :

$$\text{Amount of recycled sludge} = (3.55 - 0.77) * 209187 \text{ m}^3/\text{d} = 581540 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Amount of recycled sludge} = 24231 \text{ m}^3/\text{hr}$$

تم إختيار (3+1) مضخات propeller pumps سعة المضخة 5000 m³/hr

2-10 خلط المزيج المتخمر بأحواض التهوية aeration tank mixed liquor mixing

أحواض التهوية في نظام الكاروسيل عبارة عن حوض ببيضاوي مغلق من الطرفين يشبه حلبة السباق يمكن المزيج المتخمر للمواد الصلبة العالقة من الدوران بسهولة داخل الحوض وتبقى المواد او الحمأة معلقة في صورة مزيج معلق بفعل ناشرات الهواء التي تقلب المزيج من أسفل لأعلى وبالتالي نحن بحاجة للقليل من الطاقة للحفاظ على أن تبقى هذه المواد الصلبة معلقة وهذه أحد مهام الخلاطات بأحواض التهوية ؛ المهمة الثانية للخلاطات هي دفع المزيج لكي يدور حول الحاجز الذي يقسم الحوض لقناتين و نهاية الحوض تكون دائرية ويقسم الحوض لقناتين يفصلهما جدار للفصل بين عمليتي التدوير بالخلاطات فلا يوجد مناطق ميتة أو يتوقف فيها المزيج المتخمر للمواد الصلبة وبالتالي ينقل المزيج من المنطقة الهوائية أو القناة oxic zone إلى المنطقة أو القناة اللاهوائية anoxic zone بإستمرار ؛ والمهمة الثالثة للخلاطات هي إحداث التلامس الضروري بين ندف الحمأة والمياه الخام التي تدخل للحوض بإستمرار حتى تسهل عملية أكسدة المواد العضوية والغير عضوية المستهدف إزالتها من المياه والمهمة الرابعة هي تحقيق خلط كامل محتوى الحوض للمزيج وتسهيل نقل الأكسجين.

تم إختيار طريقة الخلط المروحي propeller الأفقية والتي تمنع الحمأة من الترسيب في الحوض .

الطاقة اللازمة لعملية الخلط في الحواض البيضاوية التي تشبه حلبة السباق لنظام الكاروسيل أقل من الطاقة اللازمة في أحواض الخلط الكامل complete mix tank المستطيلة أو المربعة وذلك لأن الفقد في الطاقة نتيجة الإحتكاك أقل بكثير ويتم تركيب الخلاطات قريبا من قاع الحوض .

ولمزيد من الأمان تم عمل حسابات الخاصة بمواصفات الخلاطات على تركيز حمأة كمادة صلبة 0.5% (لاحظ أن تركيز المزيج المتخمر كمادة صلبة 0.36%)

تم إختيار مواصفات تحقق سرعة تدوير أو دفع للمزيج بواسطة الخلاطات 0.3 m/s وهي آمنة مقارنة بسرعة التدوير القياسية 0.2 m/s

2-10-1 إيزان النيتروجين Nitrogen balance

يمكن تقدير تركيز النترات التي ستخضع للنترتة من المعادلة: (يرمز للنيتروجين في مدخل حوض التهوية

$$S_{NO3D} = C_{N,ZB} - S_{org N,EST} - S_{NH4,EST} - S_{NO3,EST} - X_{org N,BM} \text{ mg/l}$$

حيث :

تركيز النيتروجين في مدخل حوض التهوية C_{NIAT} أو يرمز له أحيانا $C_{N,ZB} = 58.4 \text{ mg/l}$

تركيز النيتروجين العضوي في المنتج النهائي $S_{org N,EST}$ أو يرمز له أحيانا $S_{org N,AN} = 2 \text{ mg/l}$

تركيز نيتروجين الأمونيا في المنتج النهائي $S_{NH4,EST}$ أو يرمز له أحيانا $S_{NH4,AN} = 0 \text{ mg/l}$

تركيز نيتروجين النترات في المنتج النهائي $S_{NO3,EST}$ أو يرمز له أحيانا $S_{NO3,AN} = 8 \text{ mg/l}$

تركيز النيتروجين للكتلة الحيوية $X_{org N,BM}$ وهو يساوي :

$$X_{org N,BM} = 0.04-0.05 * C_{BOD \text{ inlet aeration}}$$

أو

$$X_{org N, BM} = 0.02-0.025 * C_{COD \text{ inlet aeration}}$$

وبالتالي سنجد بعد الأخذ بالإعتبار حمل النيتروجين العضوي لمياه التصافي والرشيح لوحدات معالجة

الحماة أن تركيز النيتروجين العضوي للكتلة الحيوية هو :

$$X_{org N, BM} = 0.04 * 358 \text{ mg/l} = 14.32 \text{ mg/l}$$

وبالتعويض عن القيم في المعادلة سنجد أن تركيز النيتروجين الذي سيخضع للنترتة هو :

$$SNO3D = 58.40 - 2 - 0 - 8 - 14.32 = 34.08 \text{ mg/l} = 0.0341 \text{ kg/m}^3$$

وبالتالي سيكون حمل النيتروجين الكلي الذي سوف يخضع للنترتة خلال اليوم هو :

$$SNO3D = Q_{influent} * 0.0341 \text{ kg/m}^3$$

$$SNO3D = 209187 \text{ m}^3/\text{d} * 0.0341 \text{ kg/m}^3$$

$$SNO3D = 7112 \text{ kg/d}$$

2-11 النسبة الحجمية لنزع النترتة (V_D/V_{BB}) volumetric ratio for denitrification

للحصول على الحجم المناسب للمنطقة اللاهوائية anoxic zone اللازمة لإحداث النترتة العكسية denitrification لإزالة النيتروجين يتم حساب نسبة (V_D/V_{BB}) وطبقا للمواصفة الألمانية يوجد صيغتين لحساب هذه النسبة كالتالي :

*في حالة النترتة العكسية المتزامنة (الموازية) و المتقطع simultaneous & intermittent denitrification

$$= \frac{0.75 * OV_{CBOD}}{2.90} * (V_D/V_{BB}) \frac{SNO3D}{C_{BOD,ZB}}$$

*في حالة النترتة العكسية السابقة Pre- denitrification

$$= \frac{0.75 * OV_{CBOD}}{2.90} * (V_D/V_{BB})^{-0.765} \frac{SNO3D}{C_{BOD,ZB}}$$

الجدول التالي يبين النسب الرئيسية ونزع النترتة المحتمل طبقا لهذه الصيغ :

(VD/VBB)	SNO3D/ CNZB	
	Pre- denitrification	simultaneous & intermittent denitrification
0.20	0.11	0.06
0.30	0.13	0.09
0.40	0.14	0.12
0.50	0.15	0.15

وطبقا للمواصفات الألمانية يجب أن تكون النسبة

$$0.20 \leq (V_D/V_{BB}) \leq 0.50$$

وإذا كانت النسبة $(V_D/V_{BB}) \leq 0.15$ فإنه يجب إضافة مصدر للكربون العضوي من الخارج لكي يفي بحاجة عملية نزع النترتة .

2-11-1 الأكسجين الحيوي الممتص أثناء عملية التنفس لأكسدة المواد العضوية oxygen

demand for substrate respiration

لكي يتم حساب نسبة حجم منطقة النترتة العكسية كجزء من الحجم الكلي لمنطقة التهوية يكون ذلك من خلال حساب الأكسجين المطلوب واللازم لأكسدة المواد العضوية لهذه العملية بما في ذلك الأكسجين الممتص أثناء التنفس الداخلي أو الذاتي للخلايا الحية endogenous respiration ؛ وحيث أن نسبة الأكسجين الكيميائي المستهلك إلى الأكسجين الحيوي الممتص لمياه الصرف الصحي البلدي الخام هي :

$$\text{COD}_{\text{inlet}}/\text{BOD}_{\text{inlet}} \leq 2.20$$

فإن الأكسجين المطلوب للعملية هو :

$$\text{OV}_{\text{d,c}} = \text{B}_{\text{d,BOD}} * \frac{[0.56 + (0.15 * t_{\text{MLSS}} * F_T)]}{1 + (0.17 * t_{\text{MLSS}} * F_T)}$$

وحيث أن الحمل العضوي اليومي المتوقع وعمر الحمأة الذي تم حسابه للعملية وعامل تصحيح درجة الحرارة للتنفس الذاتي عند 32°C هي على التوالي :

$$\text{Daily biochemical oxygen demand load } \text{B}_{\text{d,BOD}} = 70000 \text{ kg DS/d}$$

$$\text{Sludge age } t_{\text{MLSS}} = 8.81 \text{ d}$$

$$\text{Temperature correction factor for endogenous respiration } 32^{\circ}\text{C}$$

$$F_T = 1.072^{(T-15)} = 3.27$$

بالتالي سيكون الأكسجين المطلوب للحالتين بعد التعويض بالقيم السابقة سيصبح كالتالي :

$$OV_{d,c} = 70000 \text{ kg DS/d} \left[0.56 + \frac{(0.15 \cdot 8.81d \cdot 3.27)}{1 + (0.17 \cdot 8.81d \cdot 3.27)} \right] = 90490 \text{ kg O}_2/\text{d}$$

وسيكون معدل إنتشار الأكسجين هو :

$$OV_{CBOD} = \frac{OV_{d,c}}{B_{d,BOD}} = \frac{90490 \text{ kg O}_2/\text{d}}{70000 \text{ kg DS/d}} = 1.29 \text{ mg/l}$$

2-11-2 سعة النترتة العكسية denitrification capacity

سعة النترتة العكسية هي النسبة بين النيتروجين الذي سيتم عمل نزع نترتة له S_{NO3D} والأكسجين الحيوي المطلوب الداخل لحوض التهوية $S_{BOD,ZB}$ ؛ وفي كلا العمليتين النترتة العكسية يكون :

$$= \frac{36.10}{342} = 0.11 \text{ i.e. } < 0.15 \frac{S_{NO3D}}{S_{BOD,ZB}}$$

2-11-3 نسبة (V_D/V_{BB}) النترتة العكسية المتزامنة (الموازية) Simultaneous denitrification

$$= \frac{0.75 \cdot OV_{CBOD}}{2.90} (V_D/V_{BB}) \frac{S_{NO3D}}{S_{BOD,ZB}}$$

بترتيب المعادلة تصبح :

$$= \frac{S_{NO3D}}{S_{BOD,ZB}} * \frac{2.90}{0.75 \cdot OV_{CBOD}} = 0.11 * \frac{2.90}{0.75 \cdot 1.25} = 0.34 \frac{V_D}{V_{BB}}$$

وهذه قيمة آمنة لأن عملية للنترتة العكسية ؛ تتأثر أيضا بدرجة الحرارة حيث تزيد الكفاءة بنسبة 1% لكل زيادة في درجة الحرارة قدرها درجة واحدة أعلى من 12°C وهذه الكفاءة العالية لم يتم إتخاذها بالإعتبار .

2-11-4 نسبة (V_D/V_{BB}) للنترة العكسية السابقة Preceding denitrification

تحسب النسبة من العلاقة التالية بعد إعادة ترتيبها :

$$= \frac{0.75 \cdot OV_{CBOD}}{2.90} \cdot (V_D/V_{BB})^{-0.765} \frac{S_{NO3D}}{C_{BOD,ZB}}$$
$$= \left(1 / \frac{2.90}{0.75 \cdot OV_{CBOD}}\right)^{1/0.765} = 0.27 \frac{V_D}{V_{BB}}$$

وهنا أيضا هذه قيمة آمنة لأن عملية نزع النترة تتأثر أيضا بدرجة الحرارة .

2-12 أحواض الترسيب النهائي

Final settling tanks

2-12-1 حسابات أحواض الترسيب النهائي FST Final sedimentation tanks calculations

*لتحقيق أفضل ظروف تشغيلية للأحواض يتم حساب كل من الحمل الهيدروليكي وحمل الحمأة ؛ تم تصميم الأحواض لتكون غالبا أفقية التدفق وبالتالي الحمل الهيدروليكي النوعي لحوض الترسيب النهائي أفقي التدفق :

$$qA = \frac{q_{sv}}{SV} = \frac{q_{sv}}{MLSS_{AT} \cdot SVI} < 1.60 \text{ m/hr}$$

*أقصى حجم للحمأة في الأحواض أفقية التدفق يكون 500 ml/l وبتطبيق هذا لمؤشر حجم حمأة تم إختياره

$$MLSS_{BB} = 3.50 \text{ kg/m}^3 \text{ عند تركيز المواد الصلبة } SVI = 120 \text{ ml/gm}$$

ومؤشر حمأة $SVI = 120 \text{ ml/gm}$ ومعدل رجوع $RS = 75\%$:

$$qA = \frac{500}{3.5 \cdot 120} = 1.12 \text{ m/hr} < 1.60 \text{ m/hr}$$

*الحمل الهيدروليكي عند تركيز المواد الصلبة $MLSS_{BB} = 4.20 \text{ kg/m}^3$ ومؤشر حمأة $SVI = 120$

ml/gm ومعدل رجوع $RS = 100\%$

$$qA = \frac{338}{4.5 \cdot 75} = 1.0 \text{ m/hr} < 1.60 \text{ m/hr}$$

وتكون مساحة سطح أحواض الترسيب لأقصى تدفق هي :

$$A_{FST} = \frac{Q_{\text{peak.flow,wet weather}}}{qA} = \frac{309287 \text{ m}^3/\text{d}}{1.12 \frac{\text{m}}{\text{hr}} * 24 \text{ hr}} = 11506 \text{ m}^2$$

2-12-2 ارتفاع طبقات الحمأة المختلفة height of different sludge layers

*منطقة المياه الرائقة h1 وهي منطقة أمان تعادل التأثيرات التي تؤثر على الترسيب مثل تأثير الرياح والتدفق الغير أفقي بسبب الفرق في الوزن النوعي للمياه تحت تأثير أشعة الشمس والتأثيرات السلبية نتيجة عدم التماثل في الأعمال المدنية لفيضان المياه من الحوض أثناء تنفيذ الأحواض ؛ ويبلغ ارتفاع هذه المنطقة أو الطبقة نصف متر 0.5m

*منطقة الفصل h2 ويتم فيها تكوين الندف وتتفصل الحمأة من المياه وفي هذه المنطقة يتم التداخل بينها وبين الطبقات المجاورة بسبب التدوير القصير لذلك يتم أخذ هذه الظاهرة في الاعتبار أثناء التصميم

$$h2 = \frac{0.5 * qA * (1 + RV)}{[1 - (SVI * MLSS_{AT}) / 1000]}$$

*منطقة التخزين h3 ؛ أثناء أعلى تدفق يتناقص تركيز الحمأة قليلا ومهمة هذه الطبقة هي تخزين الحمأة القادمة من حوض التهوية أثناء أقصى تدفق مما يقلل تركيز المواد الصلبة في المياه المعالجة الثانوية ويتم تصميمها لكل تسمح بما يعادل 1.5h من أقصى تدفق

$$h3 = \frac{1.5 * 0.3 * qSV * (1 + RV)}{500}$$

*منطقة التخليط h4 ؛ يتم فيها تخليط الحمأة طبقا لزمان التخليط tE وهو ساعتين في المواصفة الألمانية

$$h2 = \frac{MLSS_{AT} * qA * tE * (1 + RV)}{MLSS_{AT}}$$

تم تصميم 6 أحواض ترسيب نهائي للمحطة البيانات الهندسية لها هي كالتالي:

Number of FST	6 No
Diameter of each FST	48 m
Total settling area	10854 m ²
Individual tank area	1809 m ²
Water height @ periphery	3.80 m
Bottom slope	1/12 m/m
2/3 water height	4.50 m
water height @ center	5.80 m
Total FST volume	48834 m³
Individual FST volume	8139 m³
Total overflow weir length	904.32 m
Individual overflow weir length	150.72 m
HRT	5.86 hr

2-12-3 برهنة إتزان الكتلة طبق للتصميم proof of FST mass balance

يجب ألا يزداد زمن التخليط لأن ذلك يؤدي إلى إعادة إتحاد الفوسفور وتكوين الخبث نتيجة عملية نزع النترية التي تحدث في قاع الحوض لتوفر الظروف المناسبة لحدوثها .

لذلك يتم تصميم وتركيب وسائل تجميع وإزالة الحمأة بعناية من قاع الحوض ؛ زمن الكشط للدورة الواحدة للحمأة يعطى بالعلاقة :

$$t_{SR} = \frac{\pi * D_{FST}}{V_{SR}}$$

حيث هي سرعة الكاشط V_{SR} بالمتري/ساعة و D_{FST} قطر الحوض بالمتري .

طبقا للمواصفة الألمانية يجب أن تكون سرعة الكاشط 72-144 m/hr وقد تم إختيار 108 m/hr أي سرعة 3cm/s عند العجلات .

$$t_{SR} = \frac{3.142 * 48}{108} = \mathbf{1.40 \text{ hr}}$$

وبالتالي يكون معدل كسح الحمأة المجمعة : Q_{SR}

$$Q_{SR} = \frac{h_{SR} * a * V_{SR} * D_{FST}}{4 * f_{SR}}$$

حيث h_{SR} إرتفاع سكينة الكاشط بالمتر ؛ عدد أذرع الكاشط و f_{SR} عامل الكاشط (هو النسبة بين الحجم الذي يتم تجميعه نظريا والحجم الفعلي) .

تم تصميم كاشط على طول قطر الحوض له ذراعان 2 arms وطبقا للمواصفة الألمانية إرتفاع سكينة الكاشط 300 mm في الخارج و 500 mm في الداخل وعامل الكاشط 1.5 وقد تم إختيار نسبة متوسطة 500 mm للأحواض .

$$Q_{SR} = \frac{0.4 \text{ m} * 2 * 108 \frac{\text{m}}{\text{h}} * 48 \text{ m}}{4 * 1.5} = 691 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{FST}$$

$$\text{Total } Q_{SR} = 6 * 691 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{FST} = 4147 \text{ m}^3/\text{hr}$$

وحيث أن مستوى سحب الحماة منخفض عن مستوى رجوعها يحدث ظاهرة الدائرة القصيرة بين المدخل وسحب الحماة وهذه الظاهرة تعتمد على معدل الرجوع بين 40%-80% وقد تم إعتقاد معدل تدفق لرجوع الحماة قدره 80% عند أقصى تدفق ؛ وبمقارنة معدل التدفق التصميمي مع نسبة 40% للدورة القصيرة من المعادلات التالية تنتج البيانات بالجدول التالي :

$$Q_{SR} * MLSS_{RS} = Q_{SR} * MLSS_{BS} + Q_K * MLSS_{AT}$$

ويجب أن نحصل على أقل معدل تدفق للحماة الراجعة

$$Q_{SR} \geq \frac{Q_{SR} * MLSS_{RS} - Q_K * MLSS_{AT}}{MLSS_{BS}}$$

زمن الحجز الهيدروليكي بالحوض 2 ساعة وهو زمن مناسب لمنع بكتريا تجميع الفوسفور من إعادة إخراج الفوسفور مما يسبب مشاكل تكوين الزبد على سطح الحوض ؛ كما أنها فترة زمنية قصيرة أيضا لا تمكن بكتريا نزع النترة من النشاط والتكاثر حيث أن البيئة تكون لاهوائية anaerobic zone مناسبة لهذا النشاط

مما يسبب حدوث نزع نترتة denitrification وتكون النتيجة احتباس غاز النيتروجين الذي لا يذوب في الماء بين ندف الحمأة مما يقلل من كثافة الندف وتتصاعد الحمأة إلى سطح حوض الترسيب

ويوجد كوبري أعلى الحوض يحرك كاشط حلزوني علوي لجمع الخبث الطافي فوق سطح الحوض ويفرغه في قناة تجميع الخبث ومنه إلى خزان تجميع الخبث حيث تقوم مضخات الخبث scum pump بدفعه إلى حوض تخزين الحمأة والمغلاظ thickener وأيضا زحافة أسفل الحوض لتجميع الحمأة المترسبة ودفعها إلى مركز الحوض حيث يتم دفعها بالجاذبية إلى محطة مضخات الحمأة الراجعة والزائدة ؛ تبلغ سرعة الكوبري في الدوران 3 سم/ ثانية حتى لا تحدث تهيج للحمأة المترسبة

4-12-2 إختيار مؤشر حجم الحمأة SVI selection of sludge volume index

القيم القياسية لمؤشرات حجم الحمأة ؛ إذا كان مؤشر حجم الحمأة بعد نصف ساعة أكبر من 250 ملل / لتر يجب تخفيف الخليط المتخمر بمياه المنتج الثانوي ليكون بين 100-150 مل/ ل آخذين في الإعتبار نسبة التخفيف لحجم الحمأة المخفف .

Treatment target	SVI (l/kg)	
	Industrial/commercial wastewater influence	
	Favorable	Unfavorable
Without nitrification	100 - 150	120 - 180
Nitrification (and denitrification)	100 - 150	120 - 180
Sludge stabilization	75 - 120	100 - 150

عادة في أنظمة المعالجة للتهوية المطولة مثل نظام الكاروسيل الذي يتكون من مراحل إزالة للنيتروجين ويتم تثبيت الحمأة بأحواض التهوية يتم الإستغناء عن أحواض الترسيب الإبتدائي وبالتالي لا تكون هناك حاجة أيضا للهواضم ؛ وفي هذا النظام تكون مؤشرات حجم الحمأة عادة بين 75-120 ؛ لكن بالنسبة لهذه المحطة تم إختيار مؤشر حجم حمأة $SVI = 120$ عند تدفق الذروة و $SVI = 100$ عند متوسط التدفق .

يعتمد تصرف المضخات للحماة الراجعة على تركيز الحماة الراجعة والتي تعتمد بدورها على مؤشر حجم الحماة SVI تتأثر سعة المضخات للحماة الراجعة بنظام تجميع الحماة (الكواشط مثلا) في حوض الترسيب كما تتأثر بالتصميم العام لحوض الترسيب النهائي .

يمكن البدء في تقدير تصرف المضخات من تحديد زمن التخليط بأحواض الترسيب النهائي حيث يتم تقدير تركيز الحماة في قاع حوض الترسيب من المعادلة التالية :

$$S = Te^{1/3} * \frac{1000}{SVI}$$

حيث S تركيز الحماة في قاع الحوض و Te زمن التخليط (ساعتين) ؛ وحيث أنه تم إختيار مؤشر حجم الحماة SVI = 120 فإن تركيز الحماة في قاع الحوض سيصبح :

$$S = 2^{1/3} * \frac{1000}{120} = 10.50 \text{ g/L}$$

وبالأخذ في الإعتبار الدورة القصيرة التي تؤدي إلى تخفيف التركيز والتي تعتمد على تصميم الجزء الوسط من حوض الترسيب والذي ينتج عنه تخفيض التركيز إلى 80% يكون التركيز المتوقع للحماة الراجعة S = MLSS_{RS} هو :

$$S = 2^{1/3} * \frac{1000}{120} = 1.26 * \frac{1000}{120} * 80\% = 8.4 \text{ gm/L}$$

*وطبقا للمواصفات الألمانية يكون معدل رجوع الحماة 75% وبالتالي يكون معدل تدفق الحماة الراجعة عند أقصى تدفق (Q_{max.flow} = 200000 m³/d=12500 m³/hr)

$$\text{RAS pump capacity} = Q_{\text{max.flow}} = 12500 \text{ m}^3/\text{hr} * 75\% = 9375 \text{ m}^3/\text{hr}$$

*ومن ثم سيكون التركيز الناتج للخليط المتخمر بأحواض التهوية MLSS_{BB} من المعادلة التالية :

$$MLSS_{BB} = \frac{MLSS_{RS} * RV}{1 + RV} = \frac{8.40 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.75}{1 + 0.75} = 3.60 \text{ kg/m}^3$$

*تفترض المواصفة الألمانية نسبة رجوع تعادل 100% للأمان وفي هذه الحالة يكون تركيز المواد الصلبة العالقة للخليط المتخمر في احواض التهوية :

$$MLSS_{BB} = \frac{MLSS_{RS} * RV}{1 + RV} = \frac{8.4 \frac{kg}{m^3} * 1}{1 + 1} = 4.2 \text{ kg/m}^3$$

Final sedimentation tanks calculations FST 2-12-5 حسابات أحواض الترسيب النهائي

Sludge scrubbing interval t_{SR}

$$t_{SR} = \frac{\pi * D_{FST}}{V_{SR}}$$

حيث V_{SR} سرعة الكاشط م/س و D_{FST} هو قطر الحوض م وعادة تكون سرعة الكاشط 72-144m/hr طبقا للمواصفة الألمانية وقد تم إختيار سرعة 3cm/s أو 108m/hr

$$t_{SR} = \frac{3.14 * 40}{108} = 1.16 \text{ hr}$$

وبالتالي يكون معدل تجميع الحمأة Q_{SR} f_{SR} h_{SR}

$$Q_{SR} = \frac{h_{SR} * a * V_{SR} * D_{FST}}{4 * f_{SR}}$$

حيث h_{SR} هو ارتفاع سكينه الكاشط م و a عدد أذرع الكاشط و f_{SR} هو عامل الكاشط وهو في المواصفة الألمانية 1.5

$$Q_{SR} = \frac{0.4m * 2 * 108 \frac{m}{hr} * 40m}{4 * 1.5} = 576 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{FST}$$

أو للأحواض الثلاثة 1728 m³/hr/3FST

*لتحقيق أفضل ظروف تشغيلية للأحواض يتم حساب كل من الحمل الهيدروليكي وحمل الحمأة ؛ تم تصميم الأحواض لتكون غالبا أفقية التدفق وبالتالي الحمل الهيدروليكي النوعي لحوض الترسيب النهائي أفقي التدفق :

$$qA = \frac{q_{sv}}{SV} = \frac{q_{sv}}{MLSS_{BB} * SVI} < 1.60 \text{ m/hr}$$

*أقصى حجم للحمأة في الأحواض أفقية التدفق يكون 500 ml/l وبتطبيق هذا لمؤشر حجم حمأة تم إختياره حسب كراسة الشروط $SVI = 125 \text{ ml/gm}$ فإن الحمل الهيدروليكي عند تركيز المواد الصلبة $MLSS_{BB} = 5.880 \text{ kg/m}^3$ ومؤشر حمأة $SVI = 75 \text{ ml/gm}$ ومعدل رجوع $RS = 75\%$:

$$qA = \frac{500}{5.880 * 75} = 1.14 \text{ m/hr} < 1.60 \text{ m/hr}$$

*الحمل الهيدروليكي عند تركيز المواد الصلبة $MLSS_{BB} = 3.03 \text{ kg/m}^3$ ومؤشر حمأة $SVI = 125 \text{ ml/gm}$ ومعدل رجوع $RS = 75\%$:

$$qA = \frac{500}{3.03 * 125} = 1.32 \text{ m/hr} < 1.60 \text{ m/hr}$$

*الحمل الهيدروليكي عند تركيز المواد الصلبة $MLSS_{BB} = 3.53 \text{ kg/m}^3$ ومؤشر حمأة $SVI = 125 \text{ ml/gm}$ ومعدل رجوع $RS = 100\%$:

$$qA = \frac{500}{3.53 * 125} = 1.13 \text{ m/hr} < 1.60 \text{ m/hr}$$

وهذه النتائج تتوافق مع المواصفة الألمانية وأيضا مع المواصفات الواردة بكراسة الشروط ومن ثم يكون مساحة سطح أحواض الترسيب هي :

$$A_{FST} = \frac{Q_{\text{max.flow}}}{qA} = \frac{100000 \text{ m}^3/\text{d}}{1.32 \frac{\text{m}}{\text{hr}} * 24 \text{ hr}} = 3157 \text{ m}^2$$

تم تصميم ثلاث أحواض ترسيب نهائي قطر الحوض 40 m وبالتالي يكون الحمل للحوض الواحد عند أقصى تدفق هو 1.11m/hr

6-12-2 ارتفاع طبقات الحمأة المختلفة height of different sludge layers

*منطقة المياه الرائقة $h_1 = 0.5 \text{ m}$ وهي منطقة أمان تعادل التأثيرات التي تؤثر على الترسيب مثل تأثير الرياح والتدفق الغير أفقي بسبب الفرق في الوزن النوعي للمياه تحت تأثير أشعة الشمس والتأثيرات السلبية نتيجة عدم التماثل في الأعمال المدنية لفيضان المياه من الحوض أثناء تنفيذ الأحواض ؛ ويبلغ إرتفاع هذه المنطقة أو الطبقة نصف متر 0.5 m

*منطقة الفصل h_2 ويتم فيها تكوين الندف وتنفصل الحمأة من المياه وفي هذه المنطقة يتم التداخل بينها وبين الطبقات المجاورة بسبب التدوير القصير لذلك يتم أخذ هذه الظاهرة في الإعتبار أثناء التصميم

$$h_2 = \frac{0.5 * qA * (1 + RV)}{[1 - (SVI * MLSS_{BB}) / 1000]}$$

$$h_2 = 1.80 \text{ m}$$

*منطقة التخزين h_3 ؛ أثناء أعلى تدفق يتناقص تركيز الحمأة قليلا ومهمة هذه الطبقة هي تخزين الحمأة القادمة من حوض التهوية أثناء أقصى تدفق مما يقلل تركيز المواد الصلبة في المياه المعالجة الثانوية ويتم تصميمها لكل تسمح بما يعادل $1.5h$ من أقصى تدفق

$$h_3 = \frac{1.5 * 0.3 * qSV * (1 + RV)}{500}$$

$$h_3 = 80 \text{ cm}$$

*منطقة التخليط h_4 ؛ يتم فيها تخليط الحمأة طبقا لزمان التخليط t_E وهو ساعتين في المواصفة الألمانية

$$H_4 = \frac{MLSS_{BB} * qA * t_E * (1 + RV)}{MLSS_{BB}}$$

$$H_4 = 1.40 \text{ m}$$

الجدول التالي يبين بيانات التحليل لتصميم أحواض الترسيب في حالتين هما الأولى $SVI=125$ و $MLSS_{BB} = 3.53 \text{ kg/m}^3$ والثانية $SVI=125$ و $MLSS_{BB} = 3.04 \text{ kg/m}^3$

والذي يتضح من خلاله أن الحالة $SVI=125$ و $MLSS_{BB} = 3.53 \text{ kg/m}^3$ أكثر أمانا قليلا عن الأخرى .

Qpeak.,influent m ³ /hr	12889 m ³ /hr = 2148 m ³ /hr/T	
SVI	120	
h1 m	0.5	0.5
qA m/hr	1.11	1.11
RV	0.75	1.00
MLSS _{BB} kg/m ³	3.60	4.50
h2 m	1.55	1.80
qSV l/h* m ²	500	500
h3 m	0.79	0.80
tE h	2.00	2.00
MLSS _{BS} kg/m ³	8.40	10.50
h4 m	1.26	1.40
Total height @2/3 of radius m	4.00	4.92

2-12-7 تركيز الخليط المتخمر للمواد الصلبة المعقدة بأحواض التهوية وبالحمأة الراجعة

Concentration of MLSS in aeration tank and return sludge

لضمان الوصول إلى أعلى كفاءة للعملية البيولوجية يجب الحفاظ على تركيز من المواد الصلبة في حوض التهوية MLSS والذي يحتوي على 60-75% حايا بكتيرية حية تسمى المزيج المتخمر للمواد الصلبة العالقة الطيارة MLVSS يسمح بنمو البكتريا المرغوب فيها والتي تقوم بعملية المعالجة البيولوجية وأيضا لتكوين ندف بحجم مناسب لعملية الترسيب كما يضمن توازن مناسب بين تركيز الغذاء الوارد مع المياه الخام والكائنات الحية الموجودة بالمزيج المتخمر بأحواض التهوية كما يجب بالتالي الحفاظ على تركيز مناسب من الحمأة النشطة الراجعة والذي يحقق نمو مناسب للندف ومن ثم يحقق ترسيب جيد كما يحافظ أيضا على نسبة معقولة من البرتوزوا المسؤولة عن ترويق المياه في حوض الترسيب النهائي ومن ثم الحصول على مياه رائحة خالية من الندف المشتتة أو البكتريا المبعثرة كما سنفصل هذا الأمر لاحقا .

determination of biological process control parameters

13-1-2 حساب معدل تدفق الحمأة الزائدة Excess sludge rate calculations

بعد حساب تركيز المواد الصلبة العالقة للمزيج المتخمر في كل من أحواض التهوية والحمأة الراجعة وبمعرفة عمر الحمأة وحجم حوض التهوية يمكن حساب كمية الحمأة الزائدة التي يجب إخراجها للحفاظ على إتران الكتلة أو الحفاظ على نسبة ثابتة من المواد الصلبة العالقة ومن ثم الحفاظ على نسبة غذاء الى كائنات حية ثابتة ومناسبة كما أن ذلك من شأنه منع تراكم الحمأة في النظام مما يؤدي الى زيادة الكائنات الحية مع قلة الغذاء المتوفر لها فتموت الكائنات الحية مما يؤدي لطفو الحمأة الميتة على سطح الأحواض يتم حساب كمية الحمأة الزائدة من العلاقة التالية :

$$Q_{WAS} = \frac{V_{aeration} \frac{m^3}{d} \times MLSS \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{Sudge\ age \cdot d \times RAS_{MLSS} \left(\frac{kg}{m^3} \right)}$$

لاحظ أن تركيز الحمأة الراجعة هو نفسه تركيز الحمأة الزائدة RAS MLSS = WAS MLSS

$$Q_{WAS} = \frac{191126 \frac{m^3}{d} \times 3.60 \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{8.81 d \times 8.4 \left(\frac{kg}{m^3} \right)} = 9298 \text{ m}^3/d$$

وعند مؤشر حمأة 120 يكون تركيز الحمأة الراجعة

$$RAS_{,MLSS} \text{ conc.} = \frac{1000}{120} * \sqrt[3]{2} = 13.33 * 1.26 = 10.50 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$10.50 \times 0.80 = 8.40 \text{ mg/l}$$

نحسب تركيز MLSS بحوض التهوية عند مؤشر حمأة 120 ومعدل رجوع 75%

$$MLSS = \frac{RV \times RAS_{MLSS}}{1+RV} = \frac{0.75 \times 8.40}{1+0.75} = 3.60 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

وعند معدل رجوع 100%

$$MLSS = \frac{RV \times RAS_{MLSS}}{1+RV} = \frac{1 \times 8.40}{1+1} = 4.20 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

معدل تدفق الحمأة الزائدة

$$Q_{WAS} = \frac{191126 \frac{m^3}{d} \times 4.2 \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{8.81 d \times 8.4 \left(\frac{kg}{m^3}\right)} = 10847 \text{ m}^3/d$$

وحيث أن تصرف مضخات الحمأة الزائدة هي 150 متر مكعب للساعة لكل مضخة وهي ستة مضخات اربعة منها تعمل اثنين احتياطية .

$$\text{Hours interval} = \frac{10847 \frac{m^3}{d}}{4 \times 150 \frac{m^3}{h}} = 18.10 \text{ hr/d}$$

يمكن حساب تركيز الحمأة الراجعة من إتران الكتلة إذا كان تركيز MLSS بأحواض التهوية تم تصميمه مثلاً على 3600 ملجم/ل وعند معدل رجوع 75% ومؤشر حمأة 120

يكون كمية المواد الصلبة التي تخرج من حوض التهوية = كمية الحمأة التي تدخل الحوض قادمة من حوض الترسيب

$$(Q_{inff} + Q_{RAS}) MLSS = (Q_{RAS} \times RAS_{MLSS}) + (Q_{effl} \times TSS)$$

وبإهمال قيمة المواد الصلبة الخارجة مع المياه المروقة لصغرها يكون

$$RAS_{MLSS} = \frac{(Q_{inff} + Q_{RAS}) MLSS}{Q_{RAS}} = \frac{(200000 + 150000) \frac{m^3}{d} \times 3.60 \text{ (kg/m}^3\text{)}}{150000 \frac{m^3}{d}} = 8.40 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

وعند نسبة رجوع 100% وتركيز 4.2 mg/L

$$RAS_{MLSS} = \frac{(Q_{inff} + Q_{RAS}) MLSS}{Q_{RAS}} = \frac{(200000 + 200000) \frac{m^3}{d} * 4.20 (kg/m^3)}{200000 \frac{m^3}{d}} = 8.40 (kg/m^3)$$

2-13-2 حساب نسبة الغذاء الى الكائنات الحية F/M

ثم نحسب نسبة الغذاء للكائنات الحية بحوض التهوية وذلك بعد حساب نسبة المواد الصلبة الطيارة MLVSS

عند نسبة تركيز MLSS= 3600 mg/L وحيث أن $MLVSS = (75\% - 85\%) MLSS$

فإن تركيز المواد الصلبة الطيارة للمزيج المتخمر

$$MLVSS = 85\% * 3600 = 3060 \text{ mg/l}$$

عند نسبة تركيز MLSS= 4200 mg/L

$$MLVSS = 85\% * 4200 = 3570 \text{ mg/l}$$

وتكون نسبة الغذاء للكائنات الحية في الحالتين كالتالي :

$$F/M = \frac{(BOD_5 \times Q_{inffl})}{MLVSS \times V_{aeration}}$$

$$F/M = \frac{(0.350 \frac{kg}{m^3} * 200000 \frac{m^3}{d})}{3.060 \frac{kg}{m^3} * 191126 m^3} = 0.1196 \text{ kg BOD/d/ kg MLSS}$$

$$F/M = \frac{(0.350 \frac{kg}{m^3} * 200000 \frac{m^3}{d})}{3.570 \frac{kg}{m^3} * 191126 m^3} = 0.1026 \text{ kg BOD/kg MLSS}$$

ونظرا لأن BOD5 يتم عمله اسبوعيا يتم الإستعاضة عنه بإختبار COD يوميا لمتابعة المعايير التشغيلية للعمليات الحيوية حيث يتم تقدير قيمته مخبريا وادراجها في الحسابات .

2-13-3 حساب متوسط زمن بقاء الخلية MCRT mean cell residence time

يتم التعبير عن زمن مكث الحمأة النشطة أو عمر الحمأة بطريقة أخرى وهي زمن مكث الخلية في النظام mean cell residence time MCRT وهو يختلف عن زمن مكث المواد الصلبة SRT أو عمر الحمأة Sludge age والفرق بين زمن مكث المواد الصلبة أو عمر الحمأة من ناحية وزمن مكث الخلية بالنظام هو أن زمن مكث الخلية يعبر عن الفترة الزمنية التي تبقى فيها الحمأة النشطة في النظام ككل سواء أحواض التهوية أو أحواض الترسيب بينما عمر الحمأة أو زمن مكث المواد الصلبة يعبر عن الزمن التي تبقى فيه الحمأة النشطة تحت تأثير التهوية بأحواض التهوية فقط ومن هنا نتوقع أن زمن مكث الخلية سيكون أطول من زمن مكث المواد الصلبة أو عمر الحمأة ؛ يتم إهمال المواد الصلبة في المياه المعالجة لصغر قيمتها .

$$MCRT d = \frac{[MLSS \text{ mg/L} \times (\text{Aeration Vol.} + \text{Clarifier Vol.})]}{[(WAS, \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times (\text{WAS flow}) + (\text{TSS out} \times \text{flow out})]}$$

$$MCRT d = \frac{[3.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (1191126 \text{ m}^3 + 48834 \text{ m}^3)]}{[(8.4, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (8845 \frac{\text{m}^3}{\text{d}})]} = 11.63d$$

$$MCRT d = \frac{[4.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (1191126 \text{ m}^3 + 48834 \text{ m}^3)]}{[(8.4, \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (8845 \frac{\text{m}^3}{\text{d}})]} = 13.56d$$

1-14-2 آلية الترسيب ودور الكائنات الحية في ترويق المياه

ينتقل الخليط المتخمر MLSS من حوض التهوية الي غرفة التوزيع ثم إلى أحواض الترسيب حيث يتم فصل الحمأة من المياه المعالجة ثم يعاد جزء من الحمأة الي حوض التهوية

والباقي يتم التخلص منه كمخلفات خزان تجميع الحمأة الذي يعمل كخزان تجميع ومغلظ للحمأة thickner حيث يتم فيه تركيز الحمأة لأكمال المعالجة علي الحمأة المخلفة ؛ تتجمع الخلايا الميكروبية في الندف وتكون كثافتها كافية للترسب في حوض الترويق .



تهدير المياه المروقة في حوض الترسيب النهائي

ترسيب الندف يتبعه ترويق ثانوي يعود الي التصاق خلايا البكتريا المشتتة ببعضها وبالندف الصغيرة حيث تفرز البكتيريا مواد عديد السكريات اللزج ويكون ذلك مؤشر علي قلة الغذاء في البيئة المحيطة والكائنات تستخدم الغذاء بكفاءة لأن نواتج هدم قسم من الكائنات تستخدمه كائنات اخري كغذاء وبالتالي ترسيب الحمأة

يعتمد علي نسبة الغذاء الي الكائنات الحية F/M وتكون كفاءة الترسيب جيدة عندما تكون الكائنات في الطور الذاتي endogenous phase من النمو كما سبق والذي يحدث عندما يكون الكربون ومصدر الطاقة محدود وعند انخفاض معدل النمو الخاص للميكروبات ؛ ويحدث ترسيب جيد وتكون ازالة جيدة BOD عند نسبة منخفضة من F/M (بمعنى اخر يكون MLLS مرتفع) ؛ والعكس عندما يكون F/M كبيرة يكون الترسيب ضعيف .

يحدث الترسيب الضعيف عند التغير في المعايير الفيزيائية (مثل الحرارة ودرجة الحموضة) و غياب الغذاء (مثل مركبات النيتروجين والفسفور) ووجود مواد سامة (مثل المعادن الثقيلة) والتي تحدث تفكك لندف الحمأة النشطة .

انتاج مواد تخزين داخل الخلية intracellular مثل Poly- β hydroxybutyric acid هو المسئول عن تجمع البكتريا ؛ وعديد السكريات المتكون حول الخلية Extracellular polysaccharides يكون الكبسولة والرובה التي تتكون بواسطة Zooglea ramigera والكائنات الأخرى الموجودة في الحمأة النشطة تلعب دور هام في التندف وتكوين الندف وبالتالي يمكن القول ان المركبات المتبلرة العضوية التي تتكون بفعل الكائنات الموجودة في الحمأة هي المسئولة عن تكوين الندف وقد اوضح استخدام الميكروسكوب الالكتروني وميكروسكوب المسح الضوئي بالليزر انه يوجد الياف خارجية exopolymeric fibrils تساعد علي ثبات الندف وهي تملأ المسحات الفارغة بين الخلايا في الندف وهذه المواد تتكون اثناء الطور الذاتي من النمو الميكروبي وتعمل كقنطرة تمكن الخلايا من تكوين مصفوفة ثلاثية الأبعاد ويزداد تركيز هذه المواد كلما زاد زمن المكث للمواد الصلبة وتتكون هذه المواد المتبلرة من الكربوهيدرات ووسكريات الأمين وحامض اليورنيك (جالاتوجلوكورونيك جلوكورونيك) والبروتينات والدهون ونسبة صغيرة من الأحماض النووية ووجد ان البروتينات هي الأهم بين هذه المواد في تركيب هذه المواد المتبلرة ؛ كما ان هذه المركبات تشارك في الشحنة السالبة لسطح الندف ولها ايضا خواص محبة للماء وكارهة للوسط المائي ايضا وتكون الخواص الكارهة للماء هامة في تكوين الندف الميكروبية وتكون هذه الخاصية اكثر اهمية في تكوين الندف من شحنة سطح الندف

وقد وجد ان تلاصق الإيشريشيا كولاي يزداد مع زيادة خاصية hydrophobicity لسطح الخلية كما وجد ان Serratia marcescens المحبة للماء Hydrophobic تكون اكثر التصاقا بندق الحمأة من الإيشريشيا كولاي ووجد ان زمن مكث الحمأة SRT يؤثر علي تركيب المواد المتبلرة الخارجية والخواص الفيزيوكيميائية (الشحنة ومحبية وكراهية وسط الماء) لسطح لندف فكلما زاد SRT يكون السطح اقل شحنة سالبة وبالتالي اكثر كراهية للوسط المائي .

الكاتيونات الثنائية تلعب دور هام في تكوين الندف حيث تعمل علي تكوين قنطرة بين جزيئات التبلر EPS سالبة الشحنة الموجودة علي السطح وتكون ثنائي البولمر بينما الكاتيونات الأحادية تؤثر بالسلب علي تكوين الندف حيث تعمل علي تشتيت ثنائي البولمر وجعله معلق وبالتالي تركيز الندف يتأثر بالتركيز الأيوني لمياه الصرف الخام الداخلة الي احواض المعالجة influent wastewater ؛ إلا ان التكوين المتلاحق والمطرّد لجزيئات البولمر يمكن ان يؤدي الي تسبب الحمأة bulking وهذا يؤدي الي جعل الندف مفككة ولا تترسب جيدا وقلة ثباتية الحمأة وبالتالي يكون مؤشر حجم الحمأة كبير SVI ومرتبطة بكمية EPS وهذا الحدث الذي يسمى التضخم اللاخيطي nonfilamentous bulking يتناقض مع التضخم الخيطي filamentous bulking الذي يتكون نتيجة النمو المتزايد للبكتريا الخيطية

يمكن تحسين التندف باضافة مواد متبلرة صناعية من املاح الحديد والألومنيوم كما ذكرنا في عملية ترويق مياه الشرب سابقا .

المواد المتبلرة EPS مسئولة ايضا عن ازالة الفسفور في الحمأة النشطة وقد اثبتت الدراسات انه يحتوي علي 27-30 % فسفور ؛ الطريقة التقليدية لمتابعة ترسيب الحمأة يتم عن طريق قياس مؤشر حجم الحمأة SVI حيث يتم سحب كمية من الخليط المتخمر من حوض التهوية في مخبر مدرج سعة لتر ويترك للراحة 30 دقيقة ثم نحسب حجم الحمأة ويعرف انه الحجم الذي يشغل بواسطة جرام واحد من الحمأة ويعطي بالمعادلة التالية

$$SVI = (SV \text{ ml} \times 1000) / MLSS \text{ mg/L}$$

حيث SV الحجم المشغول بالحمأة المترسبة في المخبار المدرج ملل ؛ و MLSS الخليط المتخمر للمواد الصلبة المعلقة ملجم/ل .

تم تصميم أحواض الترسيب بمحطة الصرف الصحي بينبع بحيث يكون مؤشر حجم الحمأة 75 - 150 على أن يكون المعدل التصميمي عند 120 ملل/جم

2-14-2 حمل الحمأة وعمر الحمأة Sludge load and sludge age

تضاعف البكتريا أعدادها من خلال الإنقسام الخلوي ويختلف الزمن اللازم لهذا التضاعف من 30 دقيقة الى عدة أيام طبقا لنوع الخلية البكتيرية هذا بالإضافة الى ان نمو بعض الاصناف غير ثابت ويخضع للظروف البيئية المحيطة مثل درجة الحرارة ودرجة الحموضة وتوافر الاكسيجن من عدمه ويكون أعلى معدل نمو عندما تتوافر الظروف المثالية للنمو ؛ وواقعيا في محطات المعالجة يكون معدل النمو الحقيقي أقل من أعلى زمن لازم لعملية الانقسام الخلوي .

مستوى حمل الحمأة $\text{kg BOD or COD} / \text{kg MLSS.d}$ يعبر عن كمية الغذاء المتوفرة للكائنات الحية ؛ سوف تنمو الكائنات الحية بمعدل أكبر كلما زاد الحمل ؛ ولأنه من الضروري المحافظة على تركيز ثابت للحمأة بالأحواض سوف تزيد كمية الحمأة التي يجب تخريجها وبالتالي يقل عمر الحمأة كلما زاد حمل الحمأة ومن ثم فإن حمل الحمأة وعمر الحمأة المرتبط به سوف له له تأثير كبير على أصناف الكائنات الحية المتواجدة واعدائها ويمكن القول بأن الكائنات الحية التي يكون زمن تكاثرها وتخليقها أقل من عمر الحمأة هي فقط التي ستبقى بالحمأة بينما سوف تخرج باقي الكائنات الحية التي يكون زمن تكاثرها أكبر من عمر الحمأة مع الحمأة الزائدة

يتسبب حمل الحمأة الكبير (عمر الحمأة أيام قليلة) في نقص المغذيات مثل الفوسفور والنيتروجين والحديد (nutrients) وهذا معناه أعلى معدل نمو لبعض أصناف الكائنات الحية وهذا النمو السريع يستهلك المغذيات

وتصبح هذه الاصناف هي السائدة وفي هذه الظروف تكون الندف ليست قوية جدا وبالتالي سيتواجد العديد من الخلايا الحية الحرة ؛ ولان الندف تضم السلالات سريعة النمو فإن تركيبة الندف سوف تتغير في خلال أيام معدودة .

يوجد غذاء قليل نسبيا عند حمل الحمأة القليل (عمر الحمأة أسابيع قليلة) مسببة نمو بطيء للكائنات الحية التي تستغل المغذيات النادرة سوف تكون الان في وضع تنافسي وبالتالي سوف تموت نسبة مهمة من الخلايا الحية بسبب التنافس .

وبسبب عمر الحمأة الكبير فإن الكائنات الحية التي تقوم بتكسير بعض المركبات الخاصة والتي تنمو ببطيء يمكن ان تتواجد في هذه الظروف ومن أمثلتها بكتريا النتريته .
حمل الحمأة المنخفض اذا يمضي يدا بيد مع التنوع في الكائنات الحية وأعدادها وتكون الندف قوية و متماسكة ولا يتغير تركيبها بسرعة .

3-14-2 استهلاك المغذيات بواسطة ندف الحمأة Floccs uptake of nutrients by sludge

أثناء خلط المياه الخام بالحمأة الراجعة يتم استهلاك العديد من المركبات والحبيبات العاقة بواسطة الندف ويحد حجم وطبيعة الجزيئات والحبيبات الوسيطة التي سوف تستهلك بها

- 1-المركبات الذائبة صغيرة الوزن الجزيئي سوف تمر من غشاء الخلايا البيكتيرية المكونة للندف بسهولة
- 2-المركبات الذائبة كبيرة الوزن الجزيئي سوف ترتبط بالندف ثم تقوم البكتريا بإفراز الانزيمات اللازمة لتحللها ثم امتصاصها

- 3-الحبيبات الكبيرة يتم امساكها بواسطة الندف ثم تحللها بالانزيمات أيضا

كل العمليات الثلاثة السابقة تسمى الامتصاص البيولوجي bio-sorption ويعتمد حجم ومعدل الامتصاص البيولوجي يعتمد على مكونات المياه الخام وخواص الحمأة النشطة ونسبة الخلط بين المياه الخام والحمأة النشطة .

تسمى نسبة الخلط بين الحمأة النشطة والمياه الخام بحمل الندف Flocs load ويعبر عنها بالجرام من الأوكسجين الحيوي الممتص أو الأوكسجين الكيميائي المستهلك لكل كيلوجرام من المزيج المتخمر المعالق gm BOD or COD / kg MLSS وحمل الندف هو مقياس تركيز الغذاء المتوفر للكائنات الحية أثناء خلط الحمأة الراجعة مع مياه الصرف الخام

$$\text{Floc loading} = \frac{Q_{\text{infl.}} \cdot (\text{COD}_{\text{infl.}} - \text{COD}_{\text{effl.}})}{\text{RAS}_{\text{MLSS}} \times Q_{\text{RAS}}} \quad (\text{gm BOD or COD / kg MLSS})$$

$$\text{Floc loading} = \frac{200000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \left(350 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 10 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{8.4 \frac{\text{kg}}{\text{M}^3} \times 150000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} = 54 \text{ gm BOD / kg MLSS}$$

$$\text{Floc loading} = \frac{300000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \left(350 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 10 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right)}{8.4 \frac{\text{kg}}{\text{M}^3} \times 150000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} = 81 \text{ gm BOD / kg MLSS}$$

ويمكن حسابها أيضا من نتائج COD التي تجرى مخبريا كل يوم .

نسبة حمل الندف (حمل الحمأة) هو القوة الدافعة لعملية الامتصاص البيولوجي ؛ ولأن المواد العضوية الذائبة يمكن أن تدخل عمق الندف سوف يتم الكثير منها في الطور المائي بالتناسب مع زيادة حمل الندف . يرتبط حمل الحمأة إرتباط وثيق مع نوعية الكائنات الحية التي تتواجد بالحمأة النشطة ومن ثم أيضا بمشاكل التشغيل الناتجة من تواجد بعض هذه الكائنات أو عدم تواجد البعض الآخر وسوف نوضح هذا الأمر لاحقا عندما نتحدث عن مشاكل التشغيل المتعلقة بالكائنات الحية والفحص المجهرى للحمأة .

بعد عملية ترسيب الحمأة بحوض الترسيب تنتقل المياه المروقة بالجاذبية إلى وحدة الترشيح الثلاثي حيث تستكمل عملية معالجة المياه بينما تندفع الحمأة إلى خزان محطة مضخات الحمأة الراجعة والزائدة حيث

تجري لها عمليتين هما إخراج الحمأة الزائدة عن حاجة عملية المعالجة لعدم تراكمها بالنظام وإحداث مشاكل بالمعالجة حيث تقوم مضخات الحمأة الزائدة بهذه المهمة وهي عدد 3 مضخات غاطسة سعة المضخة 75 متر مكعب للساعة إثنين منها قيد الخدمة والثالثة احتياطي و الثانية تقوم مضخات الحمأة الراجعة بضخ الحمأة إلى الأحواض اللاهوائية Aerobic tanks حيث تختلط مع المياه الخام وهي ثلاث مضخات غاطسة سعة المضخة 1250 متر مكعب للساعة إثنين منها قيد الخدمة والثالثة احتياطي حيث تبدأ عملية معالجة الحمأة في مراحل هي تخزين الحمأة وتثخينها أو تغليظها في خزان الحمأة وهو مصمم كي يعمل كخزان لتجميع الحمأة ومثخن بالجاذبية gravity thickener ثم تغليط الحمأة بالبرميل الدوار المركب في ماكينات الحزام الضاغط ثم عملية العصر بالأحزمة الضاغطة ثم تجفيف الحمأة بالمجفف الحراري وسوف نتاول عملية معالجة الحمأة لاحقاً بالتفصيل بعد الإنتهاء من استكمال معالجة المياه

2-14-4 مفهوم عامل التحميل LF loading factor concept

العوامل المتغيرة الثلاثة في عمليات الحمأة النشطة (زمن الحجز الهيدروليكي DT وتركيز المزيج المتخمر للمواد الصلبة العالقة MLSS ونسبة الغذاء للكائنات الحية F/M) يمكن التعبير عن علاقتها ببعضها البعض بمفهوم عامل التحميل LF :

$$LF = \frac{DT * MLSS}{\frac{F}{M} * 1000}$$

بعد تحديد المتغيرات اللازمة للعملية تكون المعلومات التي نحتاج إليها الأسلوب الذي سوف يتبع في عملية المعالجة أو الأسلوب المتاح لعملية المعالجة ويقصد بالأسلوب هو مجموعة أي مجموعة من التغيرات الفيزيائية في النظام والتي تحسن واحد أو أكثر من عوامل التحكم

2-15 الترشيح الثلاثي Tertiary filtration

2-15-1 إختيار نظام الترشيح selection of filtration system

تم إختيار نظام الترشيح بالمرشحات ثنائية الوسط الترشيحي رمل/ أنثراثيت بنظام flux decline rate filtration بحيث تعمل المرشحات بالتوازي مع بعضها وعند نفس مستوى المياه ويتم الغسيل العكسي لكل مرشح على حدة آليا طبقا لحاجة المرشح وتكون خواص المياه المعالجة ثانويا وقبل الترشيح والمياه المرشحة بالنسبة للمواد الصلبة العالقة والأكسجين الحيوي الممتص هي كما بالجدول :

Secondary effluent		
	Maximum design	Average 24 composite sample
BOD5 mg/l	15	8
TSS mg/l	25	15
Tertiary filtered water		
BOD5 mg/l	<10	5
TSS mg/l	<10	5

2-1512 الترشيح الثلاثي والتطهير بالكلور Tertiary Filtration And Chlorine Densification

تم إختيار نظام الترشيح بالمرشحات ثنائية الوسط الترشيحي رمل/ أنثراثيت sand/anthrathite بنظام flux decline rate filtration بحيث تعمل المرشحات بالتوازي مع بعضها وعند نفس مستوى المياه ويتم الغسيل العكسي لكل مرشح على حدة آليا طبقا لحاجة المرشح وتكون خواص المياه المعالجة ثانويا وقبل الترشيح والمياه المرشحة بالنسبة للمواد الصلبة العالقة والأكسجين الحيوي الممتص هي كما بالجدول :

Secondary effluent		
	Maximum design	Average 24 composite sample
BOD5 mg/l	15	8
TSS mg/l	25	15
Tertiary filtered water		
BOD5 mg/l	<10	5
TSS mg/l	<10	5

وطبقاً للتصميم يتم عمل غسيل عكسي مرة واحدة للمرشح الواحد في اليوم وتتم العملية كلها آلياً ؛ وسيكون الفقد في المياه نتيجة عملية الغسيل العكسي أقل من 2% من متوسط التدفق اليومي وترجع هذه المياه إلى مدخل المحطة بالجاذبية .

تم تصميم عدد 16 خلية للترشيح في صفيين بحيث يمكن عزل كل مجموعة لحالتها وأبعاد الخلية الواحدة كما بالجدول :

Filtration cell dimensions	
Width m	8m
Length m	15m
Filtration area m ²	120
Total Filtration area m ²	1920

يتم تشغيل عدد 14 خلايا ترشيح من إجمالي 16 خلية بينما تكون 1 خلية احتياطية وأخرى قيد الغسيل العكسي ومن ثم ستكون سرعة الترشيح كالتالي :

$$\text{Filtration velocity at ADF} = \frac{\text{ADF or MDF} \frac{m^3}{d}}{24 \text{ hr} * \text{number of cell} * \text{filtration area } m^2 \text{ per cell}}$$

أولاً عند متوسط معدل التدفق

$$\text{Filtration velocity at ADF} = \frac{200000 \frac{m^3}{d}}{24 \text{ hr} * 14 \text{ cell} * 120 \text{ m}^2 \text{ per cell}} = 4.90 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr}$$

ثانياً عند تدفق الذروة

$$\text{Filtration velocity at ADF} = \frac{300000 \frac{m^3}{d}}{24 \text{ hr} * 14 \text{ cell} * 120 \text{ m}^2 \text{ per cell}} = 7.44 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr}$$

الحد المسموح به للترشيح هو حتى $15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr}$ مع العلم انه يوجد خلية احتياطي وأخرى قيد الغسيل العكسي .

من المهم أن يتوافق حجم حبيبات الوسط الترشيحي للرمال مع الوسط الترشيحي من الأنثراثيت لكي نحصل على نفس المدى من التمدد أثناء الغسيل العكسي ؛ الجدول التالي يبين خواص الأوساط الترشيحية وعمقها وعمق الخلايا الترشيحية.

Free expansion space 1.40 m			
Material	Granulometry	uniformity	Layer height
Hydro-anthracite	1.4 mm–2.5 mm	1.35	0.40 m
Sand	0.75 mm–1.25 mm	1.40	0.80 m
gravel	3.00 mm–8.00 mm	–	0.20m
Total height			2.80 m

تستطيع طبقة الأنثرايثيت إحتجاز أربعة أضعاف المواد الصلبة التي تحتجزها طبقة الرمل ؛ والجدول التالي يبين سعة التخزين لكل طبقة

Layer media	Storage capacity kg/m ³	Storage capacity kg/m ²
Hydro- anthracite	10 kg/m ³	0.40m x 10 kg/m ³ = 4 kg/m ²
Sand	2.5 kg/m ³	0.60m x 2.5 kg/m ³ = 1.5 kg/m ²
Sand/anth. Storage capacity kg/m ²		5.5 kg/m ²
Storage capacity kg/m ² /cell		5.5 kg/m ² x 120 m ² = 660 kg SS/cell
Total Storage capacity kg/m ² for 15 cell		660 kg SS/cell x 14 cell = 8400 kg SS

من البيانات السابقة بالجدول يمكن حساب الزمن الذي يكون فيه المرشح قيد التشغيل قبل إمتلائه بالمواد الصلبة واحتياجه لغسيل عكسي وذلك بفرض تركيز المواد الصلبة العالقة في المياه المعالجة 10 mg/L كالتالي :

$$\text{Cell filter running time} = \frac{8400 \text{ kg SS}}{200000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 0.01 \text{ kg ss/m}^3} = 4.2 \text{d}$$

2-15-3 دورة الغسيل العكسي backwash sequence

تتم دورة الغسيل العكسي للمرشحات خلال أربعة مراحل كالتالي :

*هواء مضغوط فقط لفصل جسيمات المواد الصلبة عن حبيبات الوسط الترشيحي لمدة خمس دقائق 5

minutes

*هواء مضغوط مع ضخ مياه بتدفق منخفض $20\text{m}^3/\text{hr}$ (مضخة واحدة) لرفع المواد الصلبة من داخل طبقات الوسط الترشيحي إلى أعلى الوسط مع المياه لمدة أربعة دقائق 4 minutes .

$$\text{Water quantity} = 20\text{m}^3/\text{hr} \times 120\text{m}^2 \times 4\text{min}/60 \text{ min} = 160 \text{ m}^3$$

* مياه فقط بتدفق منخفض (مضخة واحدة) للتخلص من فقاعات الهواء من بين حبيبات الوسط الترشيحي (degasing) وتفرغ المواد الصلبة العالقة في المياه في مجرى التصريف لمدة دقيقة 1 minute

$$\text{Water quantity} = 20\text{m}^3/\text{hr} \times 120\text{m}^2 \times 1\text{min}/60 \text{ min} = 40 \text{ m}^3$$

* مياه فقط بتدفق عالي $50\text{m}^3/\text{hr}$ (مضختين معا) لإعادة ترتيب طبقات وحبيبات الوسط الترشيحي لمدة أربعة دقائق 4 minutes .

$$\text{Water quantity} = 50\text{m}^3/\text{hr} \times 120\text{m}^2 \times 1\text{min}/60 \text{ min} = 400 \text{ m}^3$$

مجموع التدفقات المهذرة نتيجة الغسيل العكسي لخلية واحدة $600 \text{ m}^3/\text{hr}$

الزمن اللازم لعملية الغسيل العكسي 14 minutes وأعلى زمن يلزم لغسيل عكسي لخلية واحدة بما في ذلك قفل وفتح المحابس والبوابات وانخفاض منسوب الخلية 20 minutes .

وبفرض إجراء 2 عملية غسيل عكسي كحد أقصى في الساعة يكون تدفق مياه الغسيل العكسي العكرة $1200 \text{ m}^3/\text{hr}$ وبالتالي تم تصميم خزان لإستقبال مياه الغسيل العكسي العكرة 1200 m^3 ؛ تم تزويد خزان المياه الناتجة من الغسيل العكسي بعدد $2(1+1)$ مضخة لرفع المياه الناتجة من الغسيل العكسي لمدخل المحطة بتصريف قدره $1200 \text{ m}^3/\text{hr}$

*نسبة المياه المفقودة بالنسبة لمتوسط معدل التدفق اليومي اذا تم غسيل جميع المرشحات :

$$\text{Backwash Water loss\%} = \frac{600 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \times 16 \text{ cell}}{200000 \text{ m}^3/\text{d}} \times 100 = 4.8\%$$

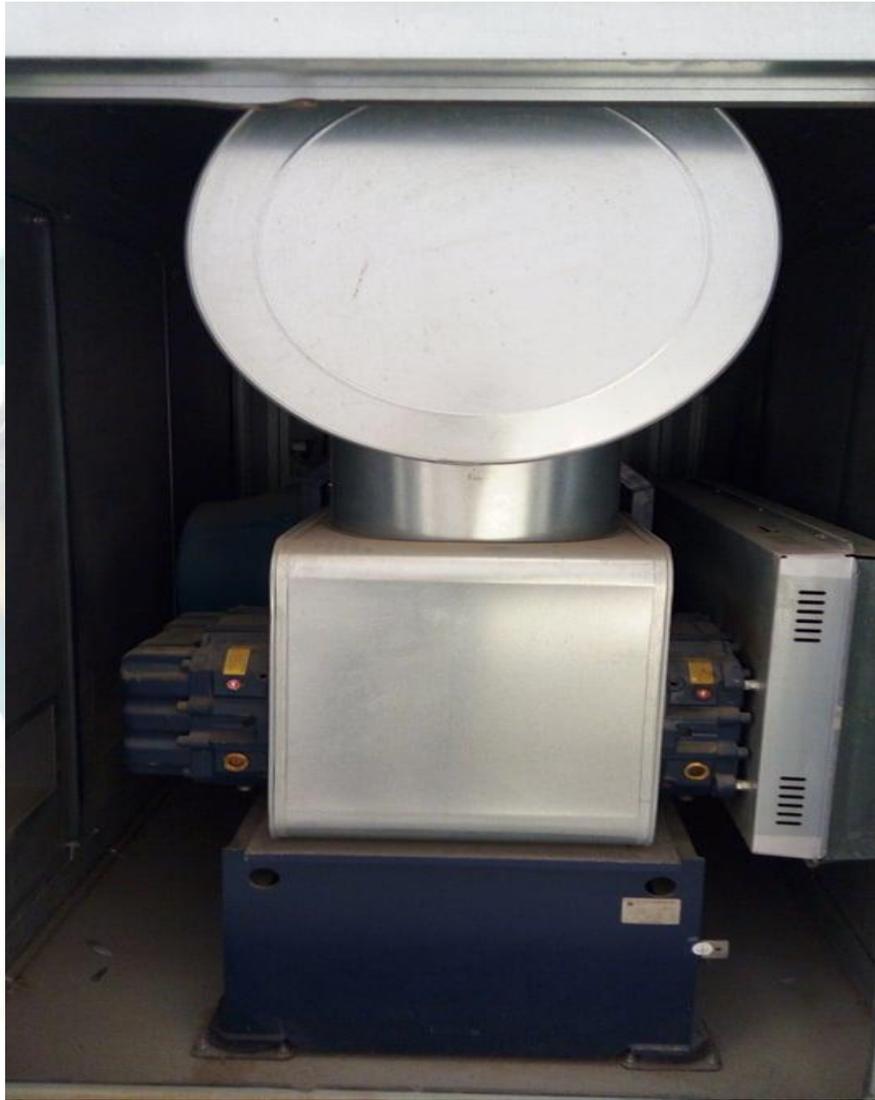
*المعدل الطبيعي للزمن اللازم للغسيل العكسي للمرشح هو 4.2d وبفرض عمل غسيل للمرشح واحد يوميا سيكون معدل الغسيل العكسي في اليوم :

$$\text{Daily backwash rate} = \frac{600 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \times 24/76.2}{200000 \text{ m}^3/\text{d}} \times 100 = 1.7\%$$

تنتقل المياه الرشيح العكرة الناتجة من عملية الغسيل العكسي للمرشحات بالجاذبية إلى بيارة مياه الرشيح العكرة الصرف حيث يتم ضخها بواسطة مضختان إلى مدخل المحطة لإعادة معالجتها ؛ وطبقا لحدود الأمان المفترضة سابقا وجودة المياه المعالجة ثانويا سوف تضيف المياه الناتجة من الغسيل العكسي **10 mg/l** مواد صلبة إلى المياه الخام الواردة للمحطة ليصبح تركيز المواد الصلبة العالقة للمياه الخام $\text{TSS} = 450 + 10 =$ وهذه الزيادة ضئيلة ويمكن إهمالها بالمقارنة مع متوسط التدفق اليومي .

المعدل القياسي أو الأمثل لتدفق الهواء أثناء عملية الغسيل العكسي $50-70 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr}$ وقد تم اعتماد معدل $75 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr}$ ومن ثم سيكون تدفق الهواء المطلوب لخلية الترشيح الواحدة :

$$\text{Required air flow per filter cell} = 120 \text{m}^2/\text{cell} * 75 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hr} = \mathbf{9000 \text{ m}^3/\text{hr}}$$





تم تزويد المحطة بعدد ثلاث نوافخ هواء إثنين قيد الخدمة والثالث احتياطي بسعة قدرها $4500 \text{ m}^3/\text{hr}$ وعامل الأمان للنوافخ :

$$SF = \frac{2 * 4500 \text{ m}^3/\text{hr}}{9000 \text{ m}^3/\text{hr}} = 1$$

شبكة التوزيع من الإستانلس استيل PN16 , SS 316 مع وجود drillings في مخرج الهواء لمنع إنسداد فتحات خروج الهواء (قطر الفتحة لا يقل عن 150mm) بالجير (إذا تم استخدامة) أو الطحالب كما تم تزويد الشبكة بمنظومة حقن للكيمياويات لتنظيفها ومنع إنسدادها بالجير أيضا في مدخل شبكة ضخ الهواء .

تم تزويد المرشحات بعدد 2 كمبريسور يوفران $109 \text{ m}^3/\text{hr}$ هواء لفتح وغلق محابس وحدة الترشيح



2-15-5 مضخات الغسيل العكسي backwash pumps



يتم الأخذ في الإعتبار سرعة الغسيل العكسي عند التدفق المنخفض والتدفق العالي وحيث أن السرعة المختارة للعملية **50m/hr** وهي كافية ومناسبة للمرشحات وحيث أن مساحة سطح المرشح **120 m²** فإن تصريف المضخات المطلوبة هو :

$$\text{Required backwash pumping capacity} = 50\text{m/hr} * 120 \text{ m}^2 = \mathbf{6000 \text{ m}^3/\text{hr}}$$

إذا هذا هو تصريف المضخة المطلوبة للغسيل العكسي عند التدفق المنخفض للمياه ؛ وحيث أن عملية ترتيب الوسط الترشيحي تحتاج تدفق أعلى فقد تم إختيار 2 مضخة إضافية بنفس التصريف لهذا الغرض مع مضخة أخرى بنفس التصريف أيضا إحتياطية ليكون بوحدة **المرشحات 6 مضخات** تعمل منها 4 مضخات ويكون عدد 2 منها إحتياطي تصريف المضخة الواحدة **1500 m³/hr**



خلية ترشيح

6-15-2 إجراءات تشغيل المرشحات Filter operation procedures

- 1- تنتقل المياه المروقة من حوض الترسيب النهائي بالجاذبية إلى مبنى المرشحات وتتم عملية الترشيح بطريقة آلية حيث تم تزويد الفلاتر بعدادات لقياس الضغط التفاضلي بحيث يمكن الاستدلال من قراءة العداد على انسداد المرشح ؛ كلما زاد ضغط قراءة الضغط للعداد دل ذلك على انسداد المرشح وحاجته للغسيل ويتلزم هذا مع ضعف تصريف المياه من المرشح وارتفاع منسوب المياه فيه مما يعطي إشارة لنظام الإسكادا على ان المرشح في حاجة للغسيل فيقوم النظام بإخراج الخلية من وضع التشغيل تمهيدا لإدخال خلية المرشح دورة الغسيل العكسي وإدخال المرشح الإحتياطي مكانه وبالتالي تبدأ عملية الغسيل العكسي آليا طبقا للوصول لأقصى ضغط تم تحديده للمرشح أو أعلى منسوب مياه فوق سطح الوسط الترشيحي وتبدأ العملية آليا (أو يبدؤها مشغل الاسكادا وفق البيانات المتاحة أمامه)
- 2- عندما يصل الضغط خلال المرشح لأعلى قيمة له يبدأ نظام الاسكادا في غلق بوابة دخول المياه للمرشح كي يتم دخوله دورة الغسيل العكسي وتعتمد عدد المرشحات المستخدمة على كمية التدفق الوارد فإذا كانت كمية المياه قليلة سوف يتم إخراج آخر مرشح تم عمل غسيل عكسي له من الخدمة لحين الحاجة له أما اذا زاد تدفق المياه سوف يتم ادخال هذا الفلتر الى الخدمة .
- 3- اذا احتاج أكثر من خلية لغسيل عكسي يتم اخراج واحدة فقط للغسيل بينما تظل الاخرى قيد التشغيل لحين الانتهاء من غسيل الاولى حيث يقوم برنامج الاسكادا بترتيب المرشحات التي تحتاج لغسيل حسب الترتيب الزمني لها وادخال الفلتر صاحب الدور أولا ثم الذي يليه
- 4- قبل إدخال المرشح الاحتياطي أو أي من المرشحات للتشغيل يتم الانتظار لمدة 3 دقائق بعدها تبدأ بوابة دخول المياه للمرشح في الفتح ويستقبل المرشح المياه
- 5- تتم عملية الغسيل العكسي للمرشحات باستخدام مياه المنتج النهائي المطهرة بالأشعة فوق البنفسجية والهواء المضغوط وتتم دورة الغسيل العكسي اوتوماتيكيا وفق دورة الغسيل العكسي بمضخات الغسيل العكسي والهواء المحدد كما ذكرنا سابقا .

- تستقبل المرشحات المياه المروقة القادمة من أحواض الترسيب النهائي وعند انسداد المرشح يتم إخراج المرشح من الخدمة وإدخال المرشح الاحتياطي مكانه ونبدأ دورة الغسيل العكسي للمرشح المتسخ كالتالي :
- 6- تتم العملية أوتوماتيكيا بوضع المرشح في وضع الغسيل العكسي حيث يبدأ قفل بوابة دخول المياه المروقة الى المرشح كما تبدأ عملية غلق محبس تصريف المياه من المرشح للاحتفاظ بمستوى مياه مناسب لعملية الغسيل العكسي (30-40 سم)
- 7- يتم تشغيل نافخ الهواء حتى يتثنى فصل المواد الصلبة العالقة من الوسط الترشيحي ويكون زمن تشغيل النافخ 3 دقائق
- 8- مع استمرار شغل النافخ تبدأ مضخة الغسيل العكسي بضخ المياه الى المرشح (مضخة واحدة فقط) ولمدة 1.5 دقيقة
- 9- يتوقف النافخ عن التشغيل وتستمر المضخة في دفع المياه لمدة 2 دقيقة
- 10- يتم تشغيل المضخة الثانية مع استمرار تشغيل المضخة الأولى لمدة دقيقة
- ثم تتوقف المضختان عن العمل وبعد خمس دقائق يبدأ فتح محبس تصريف المياه المرشحة ثم يبدأ فتح بوابة دخول المياه المروقة للمرشح أو جعل المرشح في الوضع الاحتياطي لحين الحاجة اليه
- 11- بعد الانتهاء من دورة الغسيل العكسي تبدأ بوابة تصريف المياه بالفتح ثم تشغيله اذا لزم الامر أو وضعه احتياطيا
- 12- إذا تعطلت احد مضخات الغسيل العكسي يتم دخول المضخة الثانية تؤدي دورها ثم تقوم المضخة الاحتياطي بدور المضخة الثانية وفي دورة الغسيل التي تستلزم تشغيل مضختين لإعادة ترتيب الوسط الترشيحي ستقوم المضختين بهذه المهمة
- 13- يوجد حساس لقياس منسوب مياه بيارة تجميع مياه صرف المحطة ؛ اذا كان المنسوب في البيارة مرتفع يعطي إنذار كي تتوقف مضخات الغسيل العكسي عن العمل لحين انخفاض منسوب المياه بالبيارة ثم تستكمل دورة الغسيل العكسي

- 14- إذا كان مستوى المياه في خزان مياه الغسيل العكسي منخفض سيعطي حساس قياس المنسوب إشارة لتوقيف مضخات الغسيل العكسي لحين ارتفاع منسوب المياه بالخزان
- 15- إذا كان منسوب المياه في خزان تجميع الحمأة sludge –water tank مرتفع سيعطي أيضا حساس قياس المنسوب إشارة لتوقيف مضخات الغسيل العكسي بالتوقف لحين انخفاض المنسوب (لان فائض الخزان يتم تصريفه الى بيارة مدخل المحطة)
- 16- لن تبدأ عملية الغسيل العكسي اذا كان نافخ الهواء غير جاهز للعمل أو كانت مضخات الغسيل العكسي غير جاهزة أو كان منسوب المياه بخزان مياه الغسيل العكسي أقل من المستوى المطلوب لبدء العملية أو إذا كان مستوى المياه بخزان تجميع الحمأة عالي جدا
- 17- اذا كان محبس الغسيل العكسي مغلق لن تبدأ مضخة الغسيل العكسي بالعمل واذا كان قراءة منسوب خزان مياه الرائقة ليس عند أو أعلى من أعلى مستوى للمياه بالخزان لن تبدأ مضخة الغسيل العكسي بالعمل ؛ واذا كانت قراءة منسوب المياه بخزان المياه الرائقة دون أقل مستوى للمياه أو عنده سوف تتوقف جميع مضخات الغسيل العكسي عن العمل
- 18- اذا كانت بوابة دخول المياه للمرشحات أو محبس تصريف المياه منها مفتوح لن يتم فتح محبس الفراشة الخاص بنافخ الهواء قيد الخدمة واذا لم يكن كلا من نوافخ الهواء جاهز للعمل (او احدهما) لن يفتح محبس ضخ الهواء للمرشح

2-16 وحدة الأشعة فوق البنفسجية لتطهير المياه المعالجة UV unit for Treated water disinfection

1-16-2 مفهوم التطهير

التطهير يعني التحطيم الجزئي للكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض وليس كل الكائنات الحية أثناء عملية التطهير وهي تختلف عن عملية التعقيم sterilization والتي تتحطم فيها كل الكائنات الحية ؛ وفي مجال معالجة مياه الصرف يوجد أربعة فئات من الكائنات المعوية التي تسبب الأمراض هي البكتيريا وبيوض وأكياس البروتوزوا والديدان والفيروسات .

المادة أو وسيلة التطهير المثالية غير موجودة لأنه يجب أن يتوفر بها العديد من الخواص التي يندر أن تتوفر في وسيلة واحدة أو مادة واحدة ؛ لذلك يتم استخدام أكثر من وسيلة أو مادة أو هما معا للوصول إلى أعلى كفاءة للتطهير ؛ كما يجب ان تكون وسائل التطهير آمنة وسهلة التطبيق .

تتم عملية التطهير بعدة طرق منها الطرق الكيميائية (مثل الكلور ومركباته والبروم والأوزون واليود والفينول والمركبات الفينولية والعناصر الثقيلة ومركباتها والصبغات والصابون والمنظفات الصناعية ومركبات الأمونيوم الرباعية وفوق أكسيد الهيدروجين وفوق حامض الخليك CH_3CO_3H peracetic acid وبعض القلويات والأحماض) والطرق الفيزيائية (مثل الغليان بالحرارة والضوء والموجات الصوتية والأشعة فوق البنفسجية) والطرق الميكانيكية (الترشيح بالمرشحات المختلفة والترسيب لتقليل تركيز المواد الصلبة العالقة التي تحتوي على الميكروبات وبويضاتها وأكياسها) والطرق الإشعاعية (مثل الموجات الكهرومغناطيسية واشعة جاما) . في عمليات المعالجة بالحماة النشطة يتم التخلص بنسبة 98%-90% من الميكروبات ؛ كما يمكن التخلص بنسبة تصل 99.999%-98% من الميكروبات بالتطهير بالكلور للمياه المعالجة .

تختلف فاعلية وكفاءة وسائل التطهير ومواد التطهير عن بعضها البعض ولكي تكون وسيلة التطهير أو المادة المطهرة مثالية يجب ان يتوفر فيها الشروط التالية :

* يجب أن تكون واسعة الطيف لجميع الميكروبات أي تؤثر بشكل فعال على جميع الميكروبات (البكتيريا أصنافها و بمختلف سلالاتها والفيروسات المختلفة والطفيليات وبيوض وأكياس البروتوزوا بصفة عامة وبيوض الديدان والفطريات ...الخ)

* يكون تأثيرها سريع بمعنى تثبط تنشيط أو تقتل الميكروبات بسرعة

* تكون فعالة في وجود المواد الصلبة العالقة والمواد العضوية وغيرها من المواد الغير عضوية والكيميائية التي يحتمل تواجدها في المياه

* غير سامة وغير قابلة للاشتعال وغير قابلة للإنفجار وتذوب في الماء (إذا كانت مادة كيميائية) أو تنتشر في المياه بكفاءة إذا كانت أشعة أو موجات

* تكون ثابتة خلال فترات التلامس أو التعرض لها من قبل الكائنات الحية

* تعطي جرعات حرة (وإن كان في بعض الأحيان ذلك غير مرغوب فيه)

* سهولة التخليق والتطبيق والنقل وأمنة في التعامل معها وإقتصادية

عملية التطهير بالأشعة فوق البنفسجية هي عملية فيزيائية تؤدي الى تفاعل كيموضوي يحدث تغييرات في الجزيئ المستهدف من التفاعل وهي تختلف عن التطهير الكيميائي بالكلور في نقطة جوهرية وهي أن الاشعة لا تترك فائض منها كما يفعل الكلور بترك فائض من الكلور الحر يستمر لفترة لضمان عدم نمو الميكروبات مرة أخرى .

يلزم لاتمام التفاعل الكيموضوي photochemical reaction توفر شقين هما الأول إشعاع بطاقة كافية لتحويل أو تغيير طبيعة الروابط الكيميائية بين الذرات أو الجزيئات والثاني هو الجزيئ المستهدف من التفاعل وهو هنا الكائن الحي المراد تثبط نشاطه أو القضاء عليه تماما .

الأشعة فوق البنفسجية هي جزء الطيف الكهرومغناطيسي الذي يقع بين 100nm-400nm بين أشعة إكس والضوء المرئي للطيف الكهرومغناطيسي ويمكن تقسيمها لأربعة حزم ضوئية تختلف في طولها الموجي وبالتالي يختلف تأثيرها على الميكروبات .

تتقسم الى أربعة مناطق حسب طولها الموجي وتأثيرها هي :

UVC 200– 280 nm

UVB 280– 315 nm

UVA 315– 400 nm

والضوء الأكثر فاعلية لقتل الميكروبات هو الواقع في المنطقة كل من UVB & UVC بينما تكون الحزمة UVA أقل تأثيرا وبالتالي تحتاج لزمان أطول كي يكون لها نفس التأثير .

ضوء الأشعة فوق البنفسجية بالتفريغ غير عملي لتطهير المياه و فقط تكون الطوال الموجية بين 200nm-300nm الأكثر فاعلية في عملية التطهير .

كل اللمبات المصممة والمستخدمة لتطهير المياه حاليا تستخدم خليط من الغازات مع بخار الزئبق لأنها ينبعث منها ضوء في مدى الطول الموجي القاتل للميكروبات 200nm-300nm كما يمكن لغازات أخرى مثل xenon أن يبعث ضوء في نفس المدى .

يمكن الحصول على الأشعة فوق البنفسجية من تعرض الزئبق لضغط معين (عالي أو منخفض) مع وجود تفريغ كهربى ضرب ذرات الزئبق الموجودة في صورة بخار بالكاتودات ينتجها أقطاب كهربية على شكل قوس كهربى electrical arc وطبقا للضغط والمجال الكهربى يمكن تقسيم اللمبات التي تنتج الأشعة فوق البنفسجية إلى لمبات منخفضة الضغط منخفضة الشدة (LP-LI) low pressure-low intensity و لمبات منخفضة الضغط عالية الشدة (LP-HI) low pressure-low intensity و منخفضة الضغط عالية الشدة low pressure-high intensity (LP-HI) و متوسطة الضغط عالية الشدة medium pressure-high intensity (MP-HI) .

اللمبات منخفضة الضغط منخفضة الشدة تنتج أشعة طولها الموجي 254nm وتسمى الأشعة وحيدة الطول الموجي monochromatic radiation وهو الأكثر تأثيراً على الميكروبات وهي تنتج تحديداً من لمبات الأرجون-الزئبق والتي تنتج أشعة في الحزمة سي UV-C band ويتراوح طول اللمبة بين 0.75m- 1.5m وقطرها 15mm-20mm وهذه اللمبات تعمل بكفاءة عندما تكون درجة حرارة السطح الداخلي 40°C والضغط 0.007mmHg (1mm Hg = 133.322 N/m²) وتكون شدة الضوء الناتجة من هذه اللمبات 25W-27W عند 254nm لطاقة داخلية قدرها 70W-80W ويكون الطول الموجي الخارج من اللمبات وحيد الطول الموجي ويساوي 254nm بنسبة تصل 85%-88% عند 254nm مما يجعلها وسيلة فعالة للتطهير .

فائدة غطاء حماية اللمبات quartz sleeves هو عزل لمبات الزئبق من التماس المباشر مع المياه والتحكم في درجة حرارة جدار اللمبة بتنظيم تيارات الحرارة الناتجة التي تتعرض لها لمبة الأشعة وبالتالي الحفاظ على توزيع منتظم للأشعة الناتجة ؛ ولأنه يوجد في لمبات الشعة منخفضة الضغط-منخفضة الشدة زيادة من الزئبق السائل فإنه يتم التحكم في بخار الزئبق عن بواسطة نظام تبريد لجدار اللمبات ؛ وإذا لم يتم الحفاظ على درجة الحرارة المثالية لللمبات 40°C سوف يتكثف جزء من بخار الزئبق ويعود للحالة السائلة ومن ثم يقل عدد ذرات الزئبق المتاح ليعطي فوتونات الأشعة مما يقلل من انبعاث الأشعة ؛ تقل الأشعة أيضاً مع الوقت بسبب تناقص الكثرونات الأقطاب بسبب تضررها لطول فترة التشغيل أو تأثر غطاء اللمبات lamp sleeve بسبب تراكم الصبغات أو الحديد والمنجنيز وغيرها من المواد التي تحجب وتقلل نفاذية الأشعة ؛ عمر هذا النوع من اللمبات يتراوح بين 9000 hr-13000 hr (1-1.5 عام) طبقاً لعدد دورات تشغيل وإيقاف اللمبات في اليوم عمر غطاء اللمبات lamp sleeve 4-8 سنوات .

اللمبات منخفضة الضغط عالية الشدة مثل اللمبات منخفضة الضغط منخفضة الشدة فيما عدا أنها تستخدم الزئبق المملغم بالإنديوم (المملغم هو زئبق مخلوط مع عناصر أخرى وهنا يستخدم الإنديوم) وهي تعمل عند تفريغ كهربائي عالي وضغط 0.001-0.01 mm Hg وهذا المملغم يسمح بزيادة الأشعة في الحزمة UV-C

وبالتالي يعطي ثباتية كبيرة للأشعة المنتجة على مدى واسع من درجات الحرارة حيث يحافظ هذا المملغم على مستوى ثابت من ذرات الزئبق ومن ثم يعطي عمر أطول للمبات يصل إلى 25% أطول من اللمبات منخفضة الضغط منخفضة الشدة .

اللمبات متوسطة الضغط عالية الشدة عند درجة حرارة $800^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$ وضغط $10^2 - 10^4$ مم زئبق وتنتج ضوء متعدد الأطوال الموجية polychromatic يكون 27-44% منه في حزمة الطيف UV-C ويكون فقط 7-15% منه قريب من الطول الموجي 254nm إلا أنه هذا النوع من اللمبات يولد أشعة في الحزمة UV- 50-100 C مرة أكبر من اللمبات منخفضة الضغط منخفضة الشدة وتستخدم هذه اللمبات في محطات معالجة مياه الصرف ذات التدفقات الكبيرة حيث يتطلب الأمر أعداد قليلة من هذه اللمبات في هذه الحالة كما تنخفض بصمة نظام التطهير footprint disinfection system (بمعنى آخر يقل زمن التلامس) .

وحيث أن هذه اللمبات تعمل عند درجات الحرارة التي يتحول فيها كل الزئبق إلى بخار فإنه يمكن تعديل الشعة الناتجة والتحكم فيها من خلال ضبط الطاقة المستهلكة بدون تأثير يذكر في توزيع الطيف الناتج ويكون الضبط بنسب بين 60%-100% ؛ كما يتم تزويد نظام هذه اللمبات بنظام مسح وتنظيف ميكانيكي لمنع تكوين أي صبغات على غطاء اللمبات أثناء تشغيلها نتيجة الحرارة المرتفعة والتي تساعد على تكوين هذه الصبغات من المواد والمركبات والعناصر المتوفرة في المياه المعالجة من أشهرها مركبات الهيوميك والحديد والمنجنيز .

توجد تقنيات للمبات الأشعة فوق بنفسجية المستخدمة في تطهير مياه الصرف المعالجة من أهما 1-لمبات الزينون ذات طاقة النبض واسعة النطاق pulsed energy broad band xenon lamp وتسمى أيضا pulsed UV 2- ولمبات الإثارة ضيقة الطيف narrow band excimer UV lamp (وهي طاقة تنتج من اتحاد 2 جزيئ صغير لتكوين جزيئ غير ثابت يتكسر بسرعة وينبعث منه طاقة ويسمى excimer) ؛ في النوع الأول يتم تحويل تيار كهربائي متغير لتيار ثابت يخزن في مكثفات ثم تحرر الطاقة من خلال مفتاح سريع في شكل نبضات لتوليد حقل كثيف من الأشعة فوق بنفسجية ؛ وفي كل مرة يتم قفل المفتاح فيها تشتغل

اللمبة وينتج غاز متأين في صورة بلازما وتتمد البلازما حتى تصل لجدار اللمبة ؛ والتيار المحمول بالبلازما ينتج منه حرارة والتي بدورها ترفع حرارة البلازما إلى 10000k مما يؤدي لتوليد مدى واسع من الطيف يشمل الأشعة فوق البنفسجية والضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء وتكون شدة الضوء الناتج من لمبات pulse UV حوالي 20000 مرة شدة ضوء الشمس عند مستوى البحر .

النوع الأخر من اللمبات وهي اللمبات ضيقة الطيف ينتج منها طيف أحادي الطول الموجي ويستخدم فيها تفريغ يسمى تفريغ كورونا لعمل إثارة لجزيئ ثنائي dimer جزيئ متحدين معا ويسمى كذلك في الحالة المستقرة) وبمجرد عمل إثارة للجزيئ المزدوج يسمى excimer وبمرور تيار كهربى في فجوة تفريغ تحتوي على عدد كبير من الجزيئات الغازية خلال فترة زمنية تقدر بالنانوثانية يحدث اصطدام بين الالكترونات وجزيئات الغاز المثارة وينتج منها جزي مزدوج في حالة إثارة excimer وحيث أنه غير ثابت يفقد الطاقة في صورة فوتونات ويستخدم لهذا الغرض الزينون -كلوريد الزينون والكريبتون-كلوريد الكريبتون ويعتمد الطول الموجي الناتج على نوع الغاز المستخدم .

توجد أيضا لمبات الأشعة عديمة الالكتروود electrode less mercury vapour ولمبات الهاليد المعدنية metal halide lamp ويوجد لمبات الأشعة بالليزر UV laser ولمبات الدايدو باعث الضوء light emitting diode

مكونات لمبة الأشعة فوق البنفسجية UV lamp constituents

*غلاف اللمبة lamp envelope مصمم ليمح بتقاذ اشعة UV القاتلة للميكروبات ويعمل كعازل كهربى ولا يتفاعل مع الغاز المستخدم في اللمبات ويصنع من الكوارتز الغير بلوري أو السليكا الزجاجية لأنهما ذو قدرة عالية على السماح لنفاذية الأشعة UVT ومقاوم لدرجات الحرارة ؛ يؤثر سماحية نفاذ الأشعة UVT للغلاف على انتاجية الطيف للمبة خصوصا لمبات MP عند الأطوال الموجية القصيرة ومن أجل هذا يتم تصنيع الغلاف من الكوارتز الخامل أو يطلق عليه الكوارتز المخدر doped quartz وهو مصنع بطريقة

بحيث يسمح بإمتصاص طول موجي محدد لمنع التفاعلات الكيموضوئية الغير مؤثرة على الميكروبات والغير مرغوب فيها ؛ سمك الغلاف 1-2mm والقطر يتم إختياره لتحقيق أعلى انتاجية ضوئية وأطول عمر

*الألكتروودات : مهمة الألكتروود تحفيز انتقال الحرارة بحيث يسمح بتشغيل اللمبة عند حرارة مناسبة ويصنع في لمبات LP و LPHI من التنجستن في شكل ملف معجون بأكسيد من الكالسيوم أو الباريوم أو الأسترنشيوم بينما في لمبات MP يكون الألكتروودات عبارة عن قضيب من التنجستن حوله لفافة من سلك التنجستن

*الزئبق : قد يكون صلب أو سائل أو بخار أو مملغم (سبيكة من الزئبق مع الإنديوم أو الجاليوم) وهي تستخدم ف لمبات LPHI بينما في لمبات LP و MP تحتوي على زئبق سائل

بمجرد تسخين اللمبة يزيد الضغط البخاري للزئبق ؛ تعمل لمبات LP و LPHI عند درجات حرارة منخفضة ويكون الضغط البخاري للزئبق بها منخفض عن MP ؛ وفي لمبات MP يتم التحكم في تركيز الزئبق في الحالة البخارية عن طريق كمية الزئبق في اللمبة بينما يتم وضع زيادة من الزئبق في لمبات LPHI ويتم تحديد كمية الزئبق الذي يتحول للحالة البخارية عن طريق مملغم زئبق متصل بغلاف اللمبة أو بقعة باردة على جدار اللمبة أو بغرفة تكثيف خلف الألكتروودات .

*الغاز : بالإضافة للزئبق تبعاً لللمبات أيضا بالغاز الخامل (عادة الأرجون) والغاز يقلل تآكل الألكتروودات ويكون الضغط البخاري للغاز الخامل 0.02-psi ؛ يمكن زيادة ناتج الضوء من لمبات LP بتزويدها بخيوط خاصة مقواه تزيد من التيار عبر اللمبات فتزيد الإنتاجية .

2-16-2 مكونات نظام التطهير بالأشعة فوق البنفسجية تروجان Trojan UV 3000 plus

نظام التطهير بالأشعة فوق البنفسجية في محطة معالجة مياه الصرف الصحي في المدينة المرحلة الثانية من تروجان Trojan UV 3000 plus واللمبات المستخدمة من نوع MPHI لمبات متوسطة الضغط -عالية الشدة medium pressure-high intensity وتسمى أيضا MPHIO لمبات متوسطة الضغط - عالية

الخرج أو الإنتاجية medium pressure-high output؛ 4 قنوات بكل قناة 4 حزم bank وبالتالي يكون المفاعل عبارة عن عدد 16 bank بنك يوجد لكل بنك عدد 17 لمبة بإجمالي 272 لمبة يكون اتجاه اللمبات في الوحدات موازي للتدفق .

2-16-3 قناة الإدخال أو التفاعل channel insert

تتكون قناة الإدخال من غرفة التفاعل ومسبار لقياس شدة الأشعة UV intensity probe ومنافذ للأشعة المحورية والأفقية؛ يمر الماء المعالج من غرفة التفاعل حيث يتعرض للأشعة فوق البنفسجية ويتم تطهيره يتم التبريد من خلال الإعتماد على تدفق المياه .

توجد منافذ على كل جانب من المفاعل للسماح بقياس UVT بواسطة مسبار قياس شدة الأشعة لكل بنك من اللمبات .

تم تصميم نظام التطهير بالأشعة فوق البنفسجية Trojan UV 3000 plus بحيث يكون مستوى المياه ضمن قناة المياه المعالجة ولا يرتفع فوق مستوى الحوض عند أعلى تدفق .

2-16-4 سرعة الجرعة dose pacing

عندما يتم تشغيل النظام آليا فإن التدفق و UVT% يتم قراءتهما وتقييمهما باستمرار عن طريق SCC وعندما يتغير التدفق أو جودة المياه المعالجة أو كليهما يتم ضبط الجرعة المناسبة آليا؛ ولتحقيق التطهير المطلوب يجب تشغيل بنك واحد على الأقل .

عند شحن البنك مبدئيا يكون البنك في وضع التشغيل بطاقة 100% ويظل كذلك حتى ينتهي زمن التسخين وبمجرد انتهاء زمن التسخين يبدأ SCC في تقييم التدفق و UVT% وعمر اللمبة أيضا ومن ثم ضبط مستوى الطاقة (الجرعة المناسبة) المناسب للتطهير .

مستويات الطاقة تكون متغيرة في التشغيل الآلي كما نرى كما يمكن التشغيل يدويا ويقوم المشغل بضبط مستوى الطاقة المناسب أيضا .

إذا كان مستوى الأشعة المطلوب منخفض فإنه بعد انتهاء زمن مؤقت التسخين سوف ينحدر مستوى الطاقة لأقل مستوى طاقة تم ضبطه ؛ وإذا كان مستوى الأشعة المطلوب عاليا يبدأ البنك المتوقف في التشغيل 100% وبعد انتهاء زمن مؤقت التسخين يقوم SCC بضبط مستوى الطاقة للجرعة المناسبة .

مهمة SCC الأساسية إختيار أقل مستوى طاقة تم ضبطه وأقل عدد من bank's للتشغيل للحصول على جرعة كافية .

وكما نرى يستخدم SCC التدفق وجودة المياه المعالجة وUVT% لحساب الجرعة المناسبة نظريا لكل النقاط المضبوطة للنظام set points ومن ثم في سرعة الجرعة الآلية .

2-16-5 نمذجة عمليات التطهير بالأشعة فوق البنفسجية modeling UV disinfection processes

لجرعات UV الأكبر من 10mW.s/cm^2 (وهي المستخدمة في تطهير مياه الصرف الصحي المعالجة) يمكن تطبيق هذه المعادلة والتي تعبر عن لوغاريتم التثبيط الخطي لبكتيريا الكوليفورم المشتتة في نظام الوجدات :

$$N_D(t) = N_D(0) * e^{-kI}$$

حيث $N_D(t)$ هو العدد الكلي لبكتيريا القولون المشتتة التي تبقى حية عند زمن t بعد التطهير و $N_D(0)$ العدد الكلي لبكتيريا القولون قبل التطهير عند $t=0$ و k هو معامل معدل التثبيط $\text{cm}^2/\text{mW.s}$ و I (متوسط شدة الضوء لأشعة UV في عمق المحلول و t زمن التعرض للأشعة .

الفرق بين خلايا البكتيريا المشتتة والخلايا الملتصقة أو المحمية بواسطة الحبيبات هو في شدة الضوء الواصل لها وهذه العلاقة تعبر عن شدة الضوء الواصل للخلايا المشتتة لأنها تستقبل نفس شدة الضوء ولا تعبر عن الخلايا الملتصقة ولا المحمية بالحبيبات حيث تقل وتختلف شدة الضوء باختلاف درجة حماية الخلايا بواسطة الحبيبات ؛ لذلك تم اشتقاق معادلة تعبر عن شدة الضوء الذي يصل الخلايا المحمية بالجسيمات والخلايا المشتتة :

$$N(t) = N_D(0) * e^{-kd} + \frac{N_P(0)}{kd} (1 - e^{-kd})$$

حيث $N(t)$ هو العدد الكلي لبكتيريا القولون المشتتة التي تبقى حية عند زمن t بعد التطهير و $N_D(0)$ العدد الكلي لبكتيريا القولون قبل التطهير عند $t=0$ و $N_P(0)$ العدد الكلي للجسيمات التي تحتوي على الأقل خلية واحدة لبكتيريا القولون عند $t=0$ و k هو معامل معدل التثبيط $\text{cm}^2/\text{mW.s}$ و (I) متوسط شدة الضوء للأشعة UV في عمق المحلول و t زمن التعرض للأشعة و d جرعة الأشعة mW.s/cm^2 .

يتم تقييم جرعة الأشعة فوق البنفسجية بعدة طرق أهمها وأكثرها شيوعاً لدى مصممي وحدات التطهير بالأشعة فوق البنفسجية هي طريقة الفحص الأحيائي bioassay وتعتبر طريقة الشعاع الموازي من أفضل طرق الفحص الأحيائي المستخدمة في تقييم جرعة UV وفيها يستخدم شعاع موازي اثثبيط الكائنات الحية الدقيقة في مفاعل صغير يتم تطبيق جرعة محددة من UV عليه من لمبة LP-LI وحيد الطول الموجي للحصول على الشعاع الموازي ويكون المفاعل بنظام الوجبات (طبق بترى مثلا) لكي يمكن تقدير زمن التعرض للأشعة بدقة ويمكن التحكم في الجرعة بتغيير شدة الضوء أو زمن التعرض ؛ وحيث أن أبعاد المفاعل ثابتة فإن متوسط عمق شدة الأشعة يمكن الحصول عليه من العلاقة التالية :

$$I_{ave} = I_0 * \frac{1 - 10^{-ad}}{ad} = I_0 * \frac{1 - e^{-2.306ad}}{ad}$$

حيث I_{ave} متوسط شدة UV بوحدة mW/cm^2 و متوسط متوسط شدة UV الساقطة على سطح العينة mW/cm^2 و الإمتصاص وحدة لكل سنتيمتر $a.u/cm$ ؛ و d عمق العينة ويكون الإمتصاص لمياه المعالجة كالتالي :

المعالجة الإبتدائية $0.5-0.8/cm$

المعالجة الثانوية بدون نترتة $0.3-0.5/cm$

بعد عملية النترتة والمعالجة الثانوية $0.25-0.45/cm$

بعد عملية الترشيح والمعالجة الثانوية $0.2-0.4/cm$

بعد عملية الترشيح الميكروني والمعالجة الثانوية $0.15-0.3/cm$

بعد التناضح العكسي $0.05-0.2/cm$

وبمعرفة شدة الشععة وزمن التعرض لها يمكن حساب الجرعة ثم ربطها بعدد الكائنات الحية التي تم تثبيط نشاطها عن طريق العدد الأكثر احتمالاً للبكتيريا وعدد البقع السوداء للفيروسات أو القدرة على الإصابة أو نقل العدوى للبروتوزوا ويمكن اشتقاق الإمتصاص من النفاذية كما سبق أن ذكرنا :

$$T, \% = 10^{-a \cdot d} * 100$$

في أنظمة المياه المعاد استخدامها يفضل أن تكون جرعة UV في حدود $100mW.s/cm^2$ للمياه المرشحة من المرشحات الزلطية والرملية والنفاذية 55% و $80mW.s/cm^2$ للترشيح بالأغشية والنفاذية 65% و $50mW.s/cm^2$ للمياه الناتجة من التناضح العكسي والنفاذية 90% وهذه الجرعات طبقاً لكثافة الفيروسات في هذه المياه التي تختلف في طرق معالجتها وترشيحها وقد تم أخذ هذه الجرعات والتي تكفي للحصول على اللوغاريتم الرابع $4-\log$ لتثبيط فيروس شلل الأطفال poliovirus مع الأخذ بالإعتبار عامل أمان $SF=2$

تصميم أي نظام للتطهير بالأشعة فوق البنفسجية يستلزم ثلاث إحتياجات رئيسية هي تحديد جرعة UV المطلوبة طبقا لإختبارات bioassay والتحقق من أداء نظام التطهير وفاعليته و تحديد مكونات النظام للحصول على أفضل كفاءة (عدد الوحدات وعدد اللمبات للوحدة وعدد banks اللازمة لكل قناة ولكل القنوات)

2-16-6 التحقق من أداء نظام الأشعة UV

ويتم ذلك عن طريق تقدير عدد الفيروسات أو نسبة الفيروسات البديلة التي تم تثبيط نشاطها وعادة يكون إختبارات bioassay على لاقمات البكتيريا مثلا من نوع الذكورية male specific bacteriophage MS2 (لأنها لها نفس خصائص الفيروسات) كدالة في معدل التدفق عبر نظام التطهير .
يكون تصميم النظام بحيث يكون عدد اللمبات مرتبط بمعدل التدفق أو معدل الحمل الهيدروليكي L/min.lamp .

يتم عمل الفحص الأحيائي bioassay بطريقة الشعاع الموازي في المختبر ضمن حدود المعادلات التالية :

$$-\log_{10} = \frac{N}{N_0} * [0.040 * UV \text{ dose } mW.s/cm^2] + 0.64$$

$$-\log_{10} = \frac{N}{N_0} * [0.033 * UV \text{ dose } mW.s/cm^2] + 0.20$$

العوامل التي تؤثر على أقل عدد ضروري من اللمبات يزم لعملية التطهير هي معدل التحميل الهيدروليكي ؛ وتقادم اللمبات واتساخ غطاء الحماية ؛ وجودة المياه المعالجة .

يتم تحديد عدد اللمبات المطلوب من الإختبارات الإحيائية .

وجد من التجارب أن الجرعة الكافية لتحقيق تطهير عند فترة ثقة 75% لتحقيق متوسط للخلايا الحية خلال الشهر في المياه المعالجة قدره 23 cell/100 ml هو 100mW.s/cm² وقد قام المصنع بعمل تحقق لعدد 6 بنك عند متوسط التدفق اليومي 200000 m³d وعند أعلى تدفق 300000 m³d وكان

تم تصميم 4 مفاعل لأربعة قنوات مفتوحة مكون بكل قناة عدد 4 bank عدد اللمبات bank / 17 بواقع عدد ثمانية وستون لمبة لكل قناة 68/ channel بإجمالي 272 لمبة للنظام كله موزعة على أربعة قنوات يعمل منها ثلاث قنوات بواقع 208 لمبة بينما تكون 64 لمبة احتياطية وذلك لتدفق المياه المعالجة على أساس أعلى تدفق تصميمي للمحطة 300000 m³d أو **208333.33L/min**

عرض القناة 2395mm والطول 10300mm والعمق 1465mm ومستوى المياه 1070mm وعامل التقدام 87%

بكل 2 بنك بإجمالي 8 بنك يعمل 6 بنك وعدد 2 احتياطي وبالتالي عدد اللمبات الكلية اللازمة لتحقيق الجرعة المناسبة للوصول لتطهير يعطي جرعة 100mW.s/cm² ليحقق عدد الخلايا الحية في المياه المعالجة قدره 23 cell/100 ml في المياه المطهرة عند فترة ثقة 75% هو:

$$\text{Lamp required at } 300000 \text{ m}^3\text{d} = \frac{208333.33\text{L/min}}{208 \text{ L/lamp.min}} = \mathbf{100.16 \text{ lamps}}$$

تم تزويد المحطة بعدد أربعة بنك (3+1) لكل بنك 68 لمبة بإجمالي **208** لمبة للبنوك الأساسية للتطهير وبنك احتياطي .

حجم المفاعل 437528 cm³

تقاس وحدة الأشعة بالجول/م² أو ملل جول/سم² أو ملل وات . ثانية /سم²

$$10 \text{ J/m}^2 = 1\text{mj/cm}^2 = 1\text{mWs /cm}^2$$

يتم حساب جرعة الشعبة كالتالي :

UV fluence = average UV intensity $\mu\text{W /cm}^2$ x retention time s

$$\text{Flow per channel ml (cm}^3\text{) / second} = \frac{\text{flow m}^3 \times 300000 \frac{\text{ml(cm}^3\text{)}}{\text{m}^3}}{\text{No of channel} \times 24 \frac{\text{hr}}{\text{d}} \times \frac{60\text{min}}{\text{hr}} \times \frac{60\text{sec}}{\text{min}}}$$

$$\text{Retention time seconds} = \frac{\text{net reactor volume per channel}}{\text{flow } \frac{L}{s} \text{ per channel}}$$

يوجد قناة واحدة بالمحطة يمكن حساب معدل التدفق من المعادلة السابقة

$$\text{Flow} = \frac{300000 \frac{m^3}{d} \times 1000000 \frac{ml}{m^3}}{1 \times 24 \frac{hr}{d} \times \frac{60min}{hr} \times \frac{60sec}{min}}$$

$$\text{Flow} = 3472222.23 \text{ ml}(\text{cm}^3) / \text{s}$$

حجم المفاعل الصافي = الحجم الإجمالي للمفاعل - حجم غطاء الحماية الكلي للمبات sleeve volume
 الحجم الإجمالي الكلي = عدد اللمبات في الوحدة * عدد الوحدات * طول غطاء الحماية * في الحجم الذي تشغله كل لمبه

$$\text{Gross volume} = (208)(25\text{cm})(167.14\text{cm}^2) = 869128 \text{ cm}^3$$

$$\text{Qartze sleeve volume} = \frac{3.14 * \text{sleeve dia}^2}{4} * \text{sleeve length} * \text{lamp per channel}$$

$$\text{Qartze sleeve volume} = \frac{3.14 * (7.622)^2}{4} * 25\text{cm} * 209 = 238283.43 \text{ cm}^3$$

وبالتالي حجم مفاعل الأشعة الموجود بالمحطة هو

$$\text{Net reactor volume} = 869128 \text{ cm}^3 - 238283.43 \text{ cm}^3 = 630845 \text{ cm}^3$$

وبالتالي يمكن حساب زمن المكث

$$\text{Retention time seconds} = \frac{630845 \text{ cm}^3}{3472222.23 \frac{\text{ml}}{\text{s}}} = 0.182 \text{ second}$$



شدة الضوء عند متوسط نفاذية 65% هو $151109.02 \mu\text{W}/\text{cm}^2$

UV fluence at end of lamp life = average UV intensity $\mu\text{W} / \text{cm}^2$ x retention time seconds

$$\text{UV fluence} = 151109.02 \mu\text{W} / \text{cm}^2 \times 0.182 \text{ second} = 27653 \mu\text{W.s}/\text{cm}^2$$

$$\text{UV fluence} = 27.653 \text{mW.s}/\text{cm}^2$$

هذه الجرعة fluence كافية لتحقيق تطهير جيد للمياه المعالجة .

headloss calculations حسابات الفقد عبر اللمبات 2-16-7

يتم حساب الفقد طبقا لمعادلة برنولي :

$$\text{Headloss HL} = \frac{K*V^2}{2g}$$

حيث K معامل الفقد بالبوصة و Vمتوسط السرعة inch/s و g التسارع بالجاذبية 9804 mm/s^2 .

لنظام تروجان قيمة $K=1.6$

بفرض أن التدفق $300000 \text{ m}^3/\text{hr}$ ويوجد عدد 2 بنك لكل بنك 48 لمبة ؛ وسرعة تدفق المياه المعالجة 1981.07 mm/s^2 يكون الفقد عبر لمبات البنكين هو :

$$\text{Headloss HL} = \frac{K*V^2}{2g} = \frac{1.6*(1981.07 \text{ mm/s})^2}{2*9804 \text{ mm/s}^2} = \mathbf{320 \text{ mm}}$$

تعتمد آلية التعقيم بالأشعة فوق البنفسجية على الطاقة الضوئية للأشعة التي تؤثر بشكل مباشر على الاحماض النووية للخلية الحية .

يقل تأثير الأشعة على الكائنات الحية كلما زادت العكارة نتيجة زيادة المواد الصلبة العالقة بالمياه وذلك لأن الأشعة اما يحدث لها انكسار أو يحدث لها انعكاس أو يتم امتصاصها بالمواد الصلبة العالقة وبالتالي تفقد جزء كبير من طاقة الشعاع هذا فضلا على ان المواد الصلبة ستحمي الكائنات الحية من تأثير الأشعة ؛ تم تصميم وحدة التطهير للعمل عند تركيز من المواد العالقة يصل اقصاه الى 10 ملجم/ل ومتوسط 5 ملجم/ل وتركيز BOD اقصاه 10 ملجم/ل ونفاذية للضوء 65%-70% لكل سم عند طول موجي 253.7 nm على أن يكون متوسط عدد الخلايا البكتيرية الغائبية **23 خلية/100 في خلال شهر** .

يختلف تأثير الأشعة فوق البنفسجية باختلاف الكائن الحي المستهدف فلا تتأثر كل الكائنات الحية بالمياه المعالجة بنفس الدرجة بالأشعة فمنها من يتأثر بالجرعات المنخفضة ومنها من يقاوم الجرعات العالية من الأشعة فالبكتريا المكونة للابواغ والموجبة لصبغ جرام تكون أكثر مقاومة للأشعة من البكتريا السالبة لصبغة

جرام كما تعتبر الفيروسات هي الأكثر مقاومة للأشعة تليها البكتيريا ثم الطفيليات مثل حويصلات الكريبتوسبورديوم وأكياس الجارديا .

تحدد جرعة الأشعة الفعالة وتتأثر بعدة عوامل منها شدة الإضاءة وهي تتبع قانون الانعكاس مثلها مثل باقي الأطوال الموجية في المدى من $1-200 \text{ mW/cm}^2$ ؛ والامتصاص بواسطة المواد الصلبة العالقة حيث يلزم زيادة زمن التلامس أو شدة الضوء لتحقيق تطهير فعال في حال زيادة تركيز المواد الصلبة العالقة وجدير بالذكر ان التعقيم بالأشعة يكون تأثير درجة الحرارة عليه محدود فلا يرتبط تأثير مثلاً البكتريوفاج male specific bacteriophage بالأشعة إطلاقاً بدرجة الحرارة كما لا تتأثر بدرجة الحموضة ويمكنها التأثير على النشاط الحيوي للميكروبات في درجة حموضة تتراوح من 6-9

يقل تأثير الأشعة بزيادة تركيز الحديد والمنجنيز حيث يترسبان على زجاج اللمبات ويقللان من نفاذية الضوء وتأثيره على الميكروبات خصوصاً إذا تم حقن الكلور قبل لمبات الأشعة حيث يؤكسد الكلور الحديد والمنجنيز ويترسب على زجاج اللمبات ويقلل من نفاذية الضوء لذلك إذا لزم الأمر يجب حقن الكلور بعد لمبات الأشعة أو معالجة الحديد والمنجنيز باستخدام برمنجات البوتاسيوم في أحواض الترسيب للتخلص من الحديد والمنجنيز قبل الترشيح .

تحتاج الفيروسات إلى طاقة قدرها 200 mWs/cm^2 على الأقل وحيث أن تأثير الأشعة يكون ضعيف على الفيروسات ويستلزم طاقة هائلة للتخلص منها يمكن استخدام الكلور مع التطهير بالأشعة ويتم حقنه بعد الأشعة الفوق بنفسجية .

2-16-8 مشاكل نظام التطهير بالأشعة فوق البنفسجية troubleshooting UV disinfection system

*هيدروليكا نظام التطهير : من أهم المشاكل الهيدروليكية تخليق تيارات كثيفة تؤدي لتحريك المياه الداخلة للمفاعل على طول المفاعل من أعلى أو من أسفل بنك لمبات الأشعة فينتج تدوير قصير short circuiting أو وجود مناطق ميتة dead zone ضمن المفاعل ينتج عنها تدوير قصير short circuiting وفي كلا

الحالتين يؤدي ذلك تخفيض زمن التلامس أو بمعنى ادق زمن التعرض للأشعة مما يقلل من تأثير الشععة على الميكروبات .

يمكن تحسين هيدروليكا القنوات المفتوحة ومن ثم تحسين عملية التطهير بالأشعة استخدام ناشرات هواء بالقناة بحيث توضع في منطقة مفتوحة لا تقل عن 4-6% من مساحة مقطع تدفق القناة المفتوحة ووضعت لمبات في زوايا القنوات المفتوحة .

*تكون أغشية حيوية biofilms على جدران قناة التدفق وسطح المفاعل الخارجي وهذه الأغشية عبارة عن نمو طحلي وبكتيريا خيطية والتي يمكنها النمو مهما كان الضوء خافت وتعمل على حماية الميكروبات ؛ وعندما تنسلخ هذه الأغشية الحيوية محتوية تجمعات من البكتيريا تمر مع لمياه المتدفقة عبر المفاعل أو عبر القناة دونما تأثير للأشعة عليها ولذلك يجب غسيل وتنظيف جدران القناة وأيضا المفاعل يدويا مرة كل شهر على الأقل وتطهير القناة باستخدام هيبوكلوريت الصوديوم للتقليل من نمو الطحالب .

لوحظ تكون أغشية حيوية biofilms أيضا في أنظمة التطهير المغلقة للأشعة فوق البنفسجية أيضا ولكنها تكون أقل خطورة بإستثناء الأنظمة التي يستخدم فيها لمبات MP-HI لأن هذه اللمبات ينبعث منها ضوء ذو طول موجي في منطقة الضوء المرئي و قريب من الأطوال الموجية للضوء المرئي مما يشجع نمو الطحالب ويصل طول النموات في بعض الحوال 300mm على دعائم تثبيت اللمبات .

يمكن التغلب على ظاهرة إحتماء البكتيريا في الجسيمات بزيادة شدة الأشعة إلا انه لسوء الحظ قد لا يكون ذلك متاحا في نظام التطهير كما أنه قد يحتل مع إمكانية زيادة شدة الأشعة قد لا يكون لها الأثر المتوقع لأنه في بعض التجارب الخاصة بذلك وجد انه عند زيادة شدة الأشعة عشرة أضعاف كان تأثيرها على تخفيض أعداد بكتيريا الكوليفورم المحمية بالجسيمات ضعيف والسبب في ذلك ان جسيمات مياه الصرف تستطيع إمتصاص أشعة UV بأكثر من 10000 مرة من مياه الصرف نفسها أي أن الجسيمات تمنع نفاذية الأشعة والجسيمات التي يكون حجمها أكبر من الحجم الحرج سوف تحمي البكتيريا بكفاءة عالية ؛ ولأن هذه

الجسيمات الكبيرة يكون تأثيرها على العكارة ضعيف فإن المياه المعالجة التي يكون قياس العكارة فيها $\leq 2\text{NTU}$ يظل تطهيرها صعب بسبب وجود هذه الجسيمات .

وحيث أن فاعلية التطهير بالأشعة فوق البنفسجية يحكم إبتداءا بعدد الجسيمات التي تحتوي على الكوليفورم فإنه لتحسين اداء التطهير بالأشعة فإنه يلزم إما تخفيض عدد الجسيمات التي تحمي الكوليفورم (باستخدام عملية معالجة مناسبة) أو بإزالة الجسيمات (باستخدام تصميم متطور لتحسين الترسيب الثانوي ثم عمليات ترشيح عالية الكفاءة) ؛ وتكون عمليات الترشيح بعد الترسيب الجيد مناسبة للحصول على عد بكتيري للكوليفورم يناسب المعايير المطلوبة للمياه المطهرة وهو $2.2 \text{ MPN}/100 \text{ ml}$.

عدد الجسيمات التي تحتوي على الكوليفورم يؤثر على كفاءة التطهير ليس فقط بالأشعة ولكن أيضا على التطهير بالكلور وقد وجد أنه في المحطات التي تعمل بنظام الحمأة النشطة أن عدد الجسيمات هذا دالة في زمن مكث المواد الصلبة SRT أو عمر الحمأة ويوجد تناسب عكسي بينهما حيث وجد أنه كلما زاد مكث المواد الصلبة SRT قل عدد الجسيمات ؛ ومن ثم وبدون ترشيح سوف يعتمد كفاءة تطهير الأشعة على كفاءة عملية التشغيل كما أن استخدام أحواض الترسيب العميقة يقلل من عدد هذه الجسيمات ؛ وبصفة عامة يكون من الصعب الحصول على مياه مطهرة ذات محتوى بكتيري من الكوليفورم منخفض جدا بدون ترشيح خصوصا إذا كان زمن المكث $\text{SRT}=1-2\text{d}$.

*المركبات التي تنتج من التطهير بالأشعة فوق البنفسجية بصفة عامة وفي حدود الجرعات التي تستخدم لتطهير مياه الصرف $50-140 \text{ mW.s/cm}^2$ تكون غير ضارة أو تتكسر لمركبات أصغر غير مؤذية بشكل عام وبالتالي يعتبر التطهير بالأشعة ليس له تأثير ضار بالبيئة بصفة عامة .

التأثيرات البيئية التي يمكن أن تكون ضارة و التي تنتج من تأثير الأشعة على بعض المركبات العضوية ضعيفة التركيزات في مياه الصرف مثل NDMA والإفرازات الناتجة من إضطرابات الغدد الصماء تتم عندما

تكون جرعات الأشعة أكبر من 400 mW.s/cm^2 وفي هذه الحالة يمكن استخدام الأوكسدة المتقدمة بإستخدام فوق أكسيد الهيدروجين مع الشععة فوق البنفسجية لأوكسدة مثل هذه المركبات .

2-16-9 آليات التطهير mechanisms of disinfections

يوجد خمس آليات رئيسية لعمليات التطهير 1- تحطيم جدار الخلية 2- تغيير نفاذية الخلية 3-تبديل الطبيعة الغروية للبروتوبلازم 4- تغيير DNA و RNA 5- تثبيط فاعلية الإنزيمات تحطيم جدار الخلية ينتج عنه تحلل وموت الخلية ؛ كما أن بعض المواد مثل البنسلين يثبط تكوين جدار الخلية أصلا .

بعض الفينولات والمنظفات الصناعية تغير النفاذية لغشاء السيتوبلازم حيث تحطم النفاذية الإختيارية للغشاء وتسمح للمغذيات الحيوية مثل النيتروجين والفوسفور بالهروب من الخلية .

الحرارة والإشعاع والمواد شديدة القلوية والحموضة تغير الطبيعة الغروية للبروتوبلازم ؛ تخثر الحرارة بروتين الخلية بينما تفسد المواد القلوية والحامضية البروتينات .

تستطيع الأشعة فوق البنفسجية عمل روابط ثنائية بين نيكلوديدات الأحماض النووية للكائنات الحية كما تستطيع كسر الشريط المزدوج من DNA لنصفين ؛ عندما متصل DNA للخلايا البكتيرية أو البروتوزوا و DNA و RNA للخلايا الفيروسية فوتونات الطاقة لأشعة UV يتكون مركبات ثنائية الجزيئات dimers تساهمية من الثيمين thymine base في جزيء DNA و اليوراسيل uracil base في جزيء RNA وهذه الروابط الثنائية المتكونة تعطل عملية التكرار replication للأحماض النووية وبالتالي توقف عملية التكاثر وبالتالي تثبط العملية .

المواد المؤكسدة مثل الكلور تغير الترتيب الكيميائي للإنزيمات وتثبطها .

من أشهر مواد التطهير ووسائله المستخدمة هي الكلور والأوزون والأشعة فوق البنفسجية ؛ *فاعلية الكلور تتم عن طريق الأكسدة والأوزون عن طريق الأكسدة المباشرة مع تحطيم جدار الخلية وتسرب محتويات الخلية خارجها بينما تسبب الأشعة فوق البنفسجية إثارة ضوئية للجزيئات وتغير مستويات الطاقة الجزيئية مكونة روابط ثنائية بين RND و DNA داخل الخلية مما يعطل عملية التكاثر

*يتم التفاعل مع الكلور المتاح بينما الأوزون يتم التفاعل مع الشق الناتج من تكسير جزيء الأوزون وفي حالة UV تمتص الأحماض النووية الطاقة من الضوء في مدي طول موجي 240-280nm
*الكلور يؤدي لترسيب بروتين الخلية بينما الأوزون يحطم محتوى الأحماض النووية (البيورينات والبريميديينات) بينما UV بسبب أن DNA و RNA تحمل المعلومات الجينية وقد تعطلت فلن يتم التكاثر ولا الإستنساخ

*الكلور يعدل نفاذية جدار الخلية بينما الأوزون يكسر الروابط بين الكربون والنيتروجين ويمنع البلمرة .

10-16-2 حساسية اللمبات لجودة الطاقة lamps sensitivity to power quality

تفقد اللمبات قدرتها على إنتاج القوس الضوئي للأشعة فوق البنفسجية في عدة حالات هي إذا تغير الجهد وإذا كانت جودة الطاقة ضعيفة أو شاذة أو تقطع الطاقة فمثلا الجهد الكهربائي الذي يتغير أكثر من 10-30% من الجهد الطبيعي المعتاد لفترة قصيرة جدا من الدورة 0.5-3 cycle (0.01-0.05 ثانية) مما أن يؤدي لفقدان اللمبات قوسها .

من أكثر المصادر الشائعة لمشاكل جودة الطاقة التي يمكن أن تسبب فقدان اللمبات قوسها :

*تعطل في شبكة الأسلاك أو الأرضي

*تحطم المولدات بسبب ما فجأة

*قطع الأسلاك بسبب القوارض أو الطقس

*بدء تشغيل وإيقاف المعدات التي تستهلك طاقة كبيرة في نفس الوقت الموجودة على نفس دائرة المحطة

*تحويل التيار بسبب الطوارئ للمولدات

تستطيع لمبات LP العودة خلال 15 ثانية من عودة التيار لوضع التشغيل الطبيعي ؛ لمبات LP و LPHI تحتاج 0-2 دقيقة تسخين و 4-5 دقائق للوصول للطاقة الكاملة بإجمالي 4-7 دقائق في حالة بدء التشغيل البارد وتحتاج 0-2 دقيقة تسخين و 2-5 دقائق للوصول للطاقة الكاملة بإجمالي 2-7 في حال التشغيل الدافئ بينما لمبات MP لا تحتاج وقت تسخين ولا تبريد و 1-5 دقائق للوصول للطاقة الكاملة بإجمالي 1-5 دقائق في حالة بدء التشغيل البارد وتحتاج 2-5 دقيقة تسخين و 2-5 دقائق للوصول للطاقة الكاملة بإجمالي 4-10 في حال التشغيل الدافئ ؛ كما وجد أن درجات الحرارة الأقل 10°C تبطئ من بدء تشغيل لمبات LPHI عما تم ذكره أعلاه في بعض الحالات .

2-16-11 غطاء حماية اللمبات lamp sleeve

يتم حماية اللمبات بغطاء يسمى غطاء حماية اللمبات lamp sleeve للحفاظ على درجة حرارة اللمبة عند أفضل قيمة للتشغيل وحمايتها من الكسر وهو عبارة عن إنبوبة زجاجية من الكوارتز (من السيليكا المخدرة أو الخاملة vitreous silica) التي يمكن فتحها عند أحد أطرافها ويكون طوله كافي لإستيعاب اللمبة والتوصيلات الكهربائية الخاصة بها وقطره في حال لمبات LP و LPHI 2.5-5 cm ولمبات MP 3.5-10cm والمسافة بين اللمبة من الخارج والغطاء الحماية من الداخل 1cm ويختلف وضع اللمبات بطول غطاء الحماية باختلاف شكل المفاعل ؛ يمتص غطاء الحماية بعض الأشعة فوق البنفسجية التي تؤثر على الجرعة الخارجة من المفاعل .

يحكم إغلاق غطاء الحماية لمنع تسرب المياه وأيضا عدم تكوين أوزون بين غلاف اللمبات وغطاء حماية اللمبات .

غطاء الحماية قابل للكسر وقد يحدث ذلك بسبب ضغط من الداخل أو قوة ميكانيكية من الخارج مثل نظام التنظيف لغطاء الحماية أو مطرقة مائية أو اهتزازات ويصمم غطاء الحماية ليتحمل ضغط ايجابي يصل 120 psig .

يتعرض غطاء الحماية للإتساخ مما يقلل نفاذية الأشعة UVT وقد يكون الإتساخ من الداخل نتيجة ترسب مواد مكونات غطاء الحماية بسبب تعرضها للأشعة والحرارة لذلك في المفاعلات التي تستخدم لمبات LP و LPHI يتم تصنيع غطاء الحماية حاليا من التفلون Teflon أو الكوارتز المطلي بالتفلون إلا أن التفلون يقلل نفاذية الأشعة UVT أيضا ؛ كما يتم اتساخ غطاء الحماية من الخارج بسبب ترسب المواد الموجودة في المياه عليه وذلك بسبب خليط من التأثيرات الحرارية والتفاعلات الكيموضوئية .

التشميس solarization أيضا يقلل UVT لأنه يسبب تحطيم حراري ضوئي للكوارتز مما يسبب زيادة تشتيت الضوء ويحدث تشميس الكوارتز عندما يتعرض لطاقة إشعاع ضوئي مثل الأشعة فوق البنفسجية لفترات زمنية طويلة ؛ وتزيد مقاومة الكوارتز للتشميس كلما زادت نقاوة الكوارتز ويمكن إزالة آثار التشميس عن الكوارتز بتسخينه عند 500°C .

2-16-12 جرعة الأشعة فوق البنفسجية وشدتها وتوزيعها UV dose ,intensity and distribution

شدة الأشعة فوق البنفسجية خاصة أساسية لها وتقاس W/m^2 ويشق تعريفها من معادلة ماكسويل : شدة الأشعة فوق البنفسجية عند نقطة في الفراغ يساوي مجموع شدة ضوء الأشعة فوق البنفسجية من كل الإتجاهات وتكون جرعة الأشعة فوق البنفسجية هي حاصل شدة الأشعة المتدرجة خلال فترة تعرض الكائن الحي للأشعة.

تؤثر خواص النظام بالتطهير بالأشعة فوق البنفسجية على العملية وتكمن المشكلة الأساسية في تطبيق المعادلة السابقة في نظام التطهير بالأشعة فوق البنفسجية في عدم المعرفة الدقيقة لمفهوم شدة الأشعة فوق

البنفسجية UV intensity وزمن تعرض كل الميكروبات للأشعة التي تمر عبر المفاعل او نظام التطهير بالأشعة؛ كما أنه في مفاعلات الأشعة فوق البنفسجية لتطهير مياه الصرف المعالجة ومياه الشرب أيضا يكون التدفق مستمر تكون بعض الكائنات الحية قريبة من لمبات الأشعة وتستقبل جرعة عالية منها والبعض الآخر قريب من جدار المفاعل ويستقبل أقل جرعة ممكنة وبعضها يمر بسرعة والبعض يمر في مسار دائري ويعتبر هذا من أخطر المشاكل التي تقابل مصممي أنظمة التطهير بالأشعة فوق البنفسجية وبالتالي تختلف الكائنات الحية في كم الجرعة التي تستقبلها وبالتالي يكون مفهوم توزيع الجرعة مناسب للتعبير عن الجرعة التي يستقبلها كل كائن حي ويمكن تقييم توزيع جرعة UV من خلال نموذج رياضي مبني على ديناميكية الموائع باستخدام الكمبيوتر CFD وتوزيع شدة الضوء LID يستخدم CFD لتوقع مسارات الكائنات الحية عبر مفاعل الشعبة فوق البنفسجية بينما يستخدم LID لتوقع شدة الضوء عند كل نقطة في المفاعل وبالتالي يمكن حساب الجرعة لكل كائن حي بتوزيع الطاقة على المسارات ولتحقيق هذا النموذج يستخدم معيار الإستجابة البيولوجية كبديل لجرعة الإشعاع biodosimetry حيث يتم قياس مستوى تثبيط نشاط الكائن الحي log inactivation للكائنات التي عبر المفاعل ونسبتها للجرعة وتسمى في هذه الحالة الجرعة المخفضة المكافئة reduction equivalent dose RED وأخيرا يتم استخدام تقنيات لقياس الحرارة التي تنتج من الأشعة فوق البنفسجية لقياس توزيع الجرعة ولكن لم يتم البرهنة على نجاح هذه التقنية بعد.

تبنى فاعلية التطهير للأشعة فوق البنفسجية على الجرعة التي يتعرض لها الكائن الحي من الأشعة ومن ثم تعتمد على شدة الضوء (I) intensity والزمن التي تتعرض فيه الخلايا للضوء (t) وبالتالي فإن الجرعة D هي :

$$D = I * t$$

$$D = \text{mJ/cm}^2 = \text{mW.s/cm}^2 = 10 \text{ J/m}^2 \text{ الجرعة}$$

هذه الجرعة تناظر جرعة الكلور والمواد المطهرة الكيميائية التي يعبر عنها $CR*t$ ؛ لكن يجب أن نلاحظ ان التطهير بالأشعة هو وسيلة فيزيائية تتم عبر انتشار الأشعة واختراقها للوسط الموجودة به ولذلك التعبير عن الأشعة المطلوبة للتطهير بمصطلح الجرعة dose يبدو غير دقيق والجديد في هذا الشأن هو استخدام مصطلح fluence وهو يناظر مصطلح الجرعة dose والمعنى الجديد للتعبير عن جرعة الأشعة فوق البنفسجية اللازمة للتطهير (F) fluence هي طاقة الإشعاع الكلية من كل الأطوال الموجية والتي تمر من كل الإتجاهات عبر كرة متناهية في الصغر مساحة مقطعها dA مقسومة على dA وتكون وحدته كما ذكرنا $mJ/cm^2=mW.s/cm^2$.

*ويكون معدل الجرعة fluence rate هي طاقة الإشعاع الكلية من كل الأطوال الموجية والتي تمر من كل الإتجاهات عبر كرة متناهية في الصغر مساحة مقطعها dA مقسومة على dA وللشعاع الذي يكون موازي أو متعامد (لم يتم تشتيته scattered ولا إنعكاسه reflected) يكون معدل كل من irradiance و fluence متماثل وله نفس وحدات $fluence = mW/cm^2 = mJ/cm^2$.

إذا كان الإشعاع irradiance ثابت عبر الزمن يكون fluence (جرعة الأشعة فوق البنفسجية) :

$$F = E * t$$

حيث t زمن التعرض للأشعة بالثانية و E هو irradiance ووحدة قياسه W/m^2 ويعرف بأنه قوة الإشعاع الكلية الساقطة من كل الإتجاهات بزواوية نصف كروية صلبة على عنصر متناهي في الصغر من مساحة السطح dS المستهدف مقسومة على dS .

*يعرف أيضا irradiance بأنه قوة الإشعاع التي تصل للسطح من كل الزوايا ووحدة قياسها mW/cm^2 .

*يعرف أيضا الجول J بأنه وحدة الشغل أو الطاقة (نيوتن- متر) كما يعرف الوات (والميلوات W & Mw) بأنه هو الوحدة المطلقة متر-كجم-ثانية من الطاقة والذي يساوي الشغل المبذول عند معدل جول واحد لكل

ثانية أو الطاقة الناتجة من تيار كهربى قدره أمبير واحد عبر جهد كهربى فولت واحد فقط أو 1/746 HP قوة حصان .

*من المفيد أيضا التعرض لمفهوم الشدة **intensity** وهو مصطلح يعنى معاني مختلفة غير محددة ولكن يستخدم أحيانا بمعنى **irradiance** وهو يستخدم في التعبير عن شدة الأشعة فوق البنفسجية خطأ ولكن استخدامه الصحيح هو في علم البصريات ويعبر عن النسبة بين **flux/steradian(w/Sr)** .

فإذا تم استخدام الشدة (I) للتعبير عن irradiance تكون المعادلة التي تعطي جرعة الأشعة :

$$F = I * t \text{ or } D = I * t$$

كلاهما يعبر عن جرعة الأشعة فوق البنفسجية لكن تذكر دائما أن كلمة جرعة الأشعة تعني **fluence** سواء تم التعبير عنها برمز D أو F .

جرعة أشعة UV التي يستقبلها الكائن الحي في مفاعل تتضمن تأثير شدة الأشعة التي تمتص بواسطة المياه والممتص من قبل غطاء حماية اللمبات **quartz sleeve** والضوء المنعكس والمشتت على سطح المياه وجدار المفاعل والمستهلك في التأثير على الكائنات الحية .

وعلى عكس المطهرات الكيميائية لا تترك جرعة أشعة UV متبقي منها كما في الكلور مثلا يمكن متابعته لتعيين وتحديد جرعة الأشعة ويعتمد التطهير بها على الشدة (والتي تقاس بحساسات) ومعدل التدفق ومعدل انتقال الأشعة **UVT transmittance** ولذلك يجب معرفة العلاقة بين هذه المعايير وجرعة أشعة UV لكي يمكن مراقبة ومتابعة عملية التطهير لتحقيق تطهير مناسب .

*يجب التعرّيج أيضا على مفهوم إنتقال الضوء **transmittance** وهو يعبر عن نسبة الضوء التي تمر عبر وسط ما (قد يكون خلية من الكوارتز او عينة من المياه) ويوضح سلوك الأشعة أثناء انتقالها عبر وسط ما ويمكن حسابه من العلاقة :

$$UVT = 100 * \frac{I}{I_0}$$

كما يمكن حسابه أيضا بالنسبة لإمتصاص الضوء :

$$\%UVT = 100 * 10^{-A}$$

حيث A الإمتصاص عند طول موجي معين وعرض خلية أو مسار معين للضوء و UVT إنتقال الأشعة عند طول موجي معين (مثلا 254nm) ومسار طوله 1cm ؛ وعادة يعبر عن UVT عند 254nm لأنه المستخدم في عمليات التطهير .

استجابة الميكروبات هو حساسية الكائنات الحية للأشعة فوق البنفسجية وهي خاصية فريدة لكل كائن حي فإذا تعرضت عينة من المياه تحتوي على ميكروبات للأشعة سوف تتأثر الكائنات الحية بدرجات مختلفة ويمكن قياس استجابة الميكروبات من العلاقة السابقة أعلاه .

*الإمتصاص absorption هو تحول الضوء إلى صورة أخرى من الطاقة عندما يمر في مادة ما ويختلف باختلاف الطول الموجي .

امتصاص الأشعة فوق البنفسجية بواسطة جزيئ ما يؤدي إلى تغيير التوزيع الألكتروني للجزيئ وتحويلها لطاقة إشعاعية وتدوير ذرات الجزيئ واهتزازها ؛ قبل امتصاص الأشعة يكون مستويات الطاقة في حدها الأدنى ويكون الجزيئ مستقر بينما بعد إمتصاص الأشعة يتحول للحالة المثارة ؛ تختلف مقدرة الجزيئات على امتصاص الأشعة باختلاف تركيبها

*الإنكسار refraction هو التغير في اتجاه الضوء المنبعث عندما يمر في منطقة التماس بين وسط وآخر ويحدث ذلك عندما ينتقل UV عبر فجوة الهواء باللمبة ثم عبر غلاف حماية اللمبة ثم عبر المياه مما يغير زاوية اتبعات الضوء نحو الميكروب ولكن لم يعرف إلى الآن كيف يؤثر على فاعلية التطهير

*الإنعكاس reflection هو انعكاس الشعاع عندما يشتمت بواسطة الصطح الساقط عليه وقد يكون انعكاس براق وينتج من الأسطح المصقولة ويتبع قانون الإنعكاس زاوية السقوط تساوي زاوية الإنعكاس ؛ وقد يكون يكون منتشر وهو ينتج من الأسطح الخشنة حيث يشتمت الضوء في كل الإتجاهات ؛ يحدث الإنعكاس في مفاعلات UV عند أسطح التماس التي لا تتقل UV مثل جدار المفاعل ويعتمد نوع الإنعكاس وشدة الضوء المنعكس من سطح ما على المادة المصنوع منها السطح .

*تشتيت الضوء scattering هو التغير في اتجاه الضوء بالتداخل مع الجسيمات ويكون التشتيت الحاصل في كل الإتجاهات بما فيها مصدر الضوء نفسه ؛ التشتيت الحاصل للضوء بجسيمات أصغر من الطول الموجي للضوء يسمى تشتيت ريلي Raleigh وهو يتناسب عكسي مع الأس الرابع للطول الموجي $1/\lambda^4$ وبالتالي يكون سائد عند الطول الموجي الأقصر ؛ والجسيمات الأكبر من الطول الموجي للضوء تشتت ضوء أكثر في الإتجاه الأمامي ولكن أيضا تسبب تشتيت عكسي (في نفس اتجاه مصدر الضوء) ولا يعتمد على الطول الموجي .

* امتصاص الأشعة فوق البنفسجية UV absorbance هو قياس كمية الأشعة فوق البنفسجية التي يتم امتصاصها بواسطة المياه او DNA للميكروبات أو غطاء حماية اللمبات أو غلاف اللمبات عند طول موجي معين (مثلا 254nm) وهذه القياسات تعبر عن الإمتصاص والتشتيت الحاصل في الوسط وهو هنا المياه .

17-2 آليات تثبيط نشاط الكائنات الحية بالأشعة فوق البنفسجية of microbial mechanisms inactivation by UV

1-17-2 تركيب الأحماض النووية nucleic acids structure

قبل الخوض في تفاصيل آليات وقف أو تثبيط نشاط الكائنات الحية بالأشعة فوق البنفسجية سوف نعرض على تركيب الجزيئات التي من خلالها تؤثر الأشعة على نشاط الكائن الحي بصورة مختصرة كي يمكننا فهم كيفية تأثير الأشعة كمطهر .

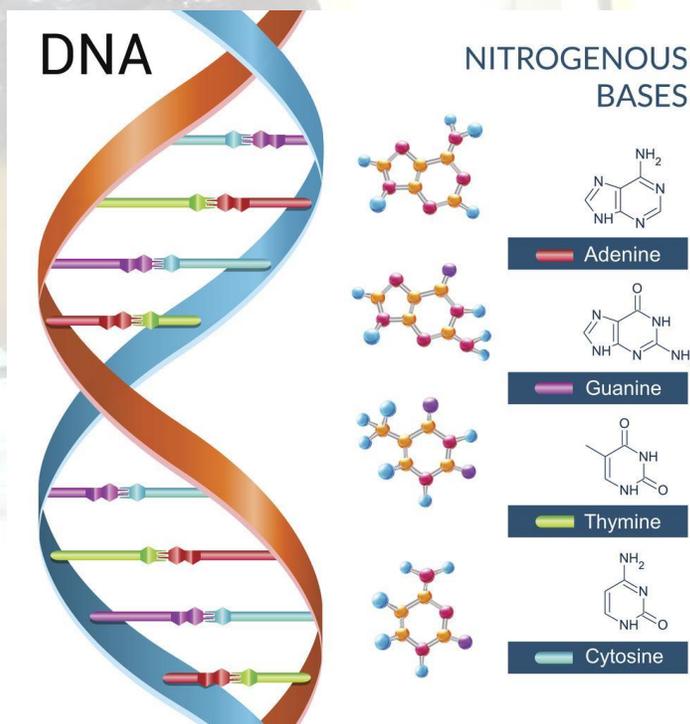
يوجد نوعين من الأحماض النووية الحامض النووي DNA و RNA ؛ تحتوي الفيروسات على DNA أو RNA وليس الأثنين معا .

جزيء DNA جزء ضخم ذو وزن جزيئي كبير يتكون من وحدات صغيرة تسمى النيكلويدات nucleotides والتي تتكون بدورها من سكر خماسي دي أوكسي ريبوسي deoxyribose وفوسفات وواحد من أربع قواعد نيتروجينية هي الثيمين T والأدينين A و السيتوسين C والجوانين G ؛ تتكون كل من السيتوسين C والثيمين T من حلقة واحدة وتسمى قواعد البريميدين purines بينما يتكون كل من الأدينين A والجوانين G من حلقتين وتسمى قواعد البيورينات purines .

تكون القواعد في جزيء RNA في شريط مفرد ويحتوي على نفس البيورينات (A&G) بينما البريميدين (U&C) pyrimidines .

يتكون جزيء DNA من شريطين في شكل مزدوج حلزوني double helix ينتهي بهيدروكسيل ومجموعة فوسفات في الآخر تعزز تناسق الإتجاه حيث يلتف كل شريط حول الآخر في اتجاه معاكس و يلتف كل منهما حول الآخر بحيث يرتبط حلزوني الشريطين المتقابلين من الخارج بروابط تساهمية وتحتوي على نفس القواعد وتترتب بحيث تشكل كل قاعدتين متقابلتين على الشريطين زوج من القواعد المرتبط بروابط هيدروجينية والتي تمسك بالتركيب الكلي للجزيء وتمثل فقط 5% من قوة الروابط التساهمية للحزون الخارجي للشريطين ؛

يرتبط T & A بزوج من الروابط الهيدروجينية بينما يرتبط C&G بثلاث روابط هيدروجينية وبالتالي فإن روابط T & A هي الأضعف في الجزيء ؛ تبلغ قوة الرابطة الهيدروجينية 2-4 k Cal/bond ؛ يرجع ثبات جزيء DNA ليس فقط لروابط الهيدروجين ولكن أيضا للروابط الأيونية مجموعات الفوسفات السالبة والكاتيونات تخفض قوى التناثر بين المجموعات السالبة وبعضها كما ترجع الثابتية للخواص الكارهة للوسط المائي المرتبطة بالقواعد المرصوصة بحيث يوجد بينها قوى تداخل ينتج منها زوايا تداخل في الجزيء قدرها 36^0 ومن ثم ينتج من هذه القواعد المرصوصة نواة كاره للوسط المائي تسمح بتكوين روابط هيدروجية بين القواعد فقط .





2-17-2 تأثير الأشعة فوق البنفسجية على الخلايا الحية mechanisms of microbial inactivation by UV

تختلف آلية التطهير بالأشعة فوق البنفسجية عن آلية التطهير بالمطهرات الكيميائية مثل الأوزون والكلور حيث تعمل المطهرات الكيميائية على تثبيط نشاط الكائنات الحية من خلال تحطيم التركيب الخلوي للخلايا الحية ووقف عمليات الأيض الحيوي من خلال تحطيم الإنزيمات المستخدمة في العمليات الحيوية والكيموحيوية ووقف التخليق الحيوي والنمو بينما تعمل الأشعة فوق البنفسجية على تحطيم الأحماض النووية ومن ثم توقف عمليات التكرار replication لشريط الحامض النووي ومن ثم تتوقف عملية النسخ transcription وبالتالي يتوقف التكاثر والكائن الذي لا يستطيع القيام بعملية التكرار لا يستطيع إصابة الخلية المضيفة .

يتم التعرف على تأثير الأشعة على الكائنات الحية المختلفة حسب نوع الكائن الحي فالبكتيريا يتم التعرف على مدى تأثير الأشعة عليها من خلال قياس قدرة الخلايا البكتيرية على الإنقسام وتكوين مستعمرات أما الفيروسات يتم قياس قدرة الخلايا على تكوين بقع في خلايا الكائن العائل أو المضيف أو الخلايا العائلة أو

المضيفة للفيروس أما في حالة بيوض البروتوزوا يقاس بمقدرة الكائن الحي على إصابة الخلايا المضيفة أو الأنسجة المزروعة .

الأحماض النووية DNA & RNA هي الجزيئات المسؤولة عن تعريف الوظائف الخاصة بالأيض metabolism والتكاثر لكل أشكال الحياة .

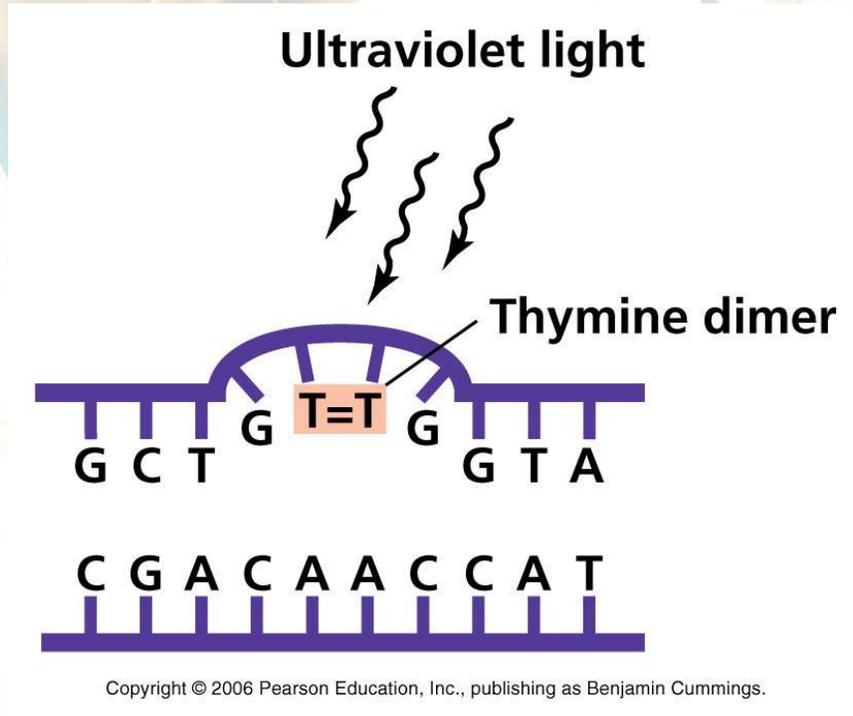
تستطيع النيكلوتيدات بصفة عامة إمتصاص الأشعة فوق البنفسجية في مدى 200nm-300nm بقوة ولكن البريميدينات pyrimidines تمتص الأشعة بشكل أقوى وتتحطم بشكل أسرع من purines وتحث الأشعة الممتصة pyrimidines على التحطم بست طرق مختلفة طبقا لجرعة الأشعة الممتصة والآليات الثلاثة التي من خلالها يتم تثبيط نشاط الكائنات الحية الدقيقة والتي تحدث في منطقة الطيف ذو الأطوال للأشعة فوق البنفسجية هي :

1-ثنائي البيريميدين pyrimidine dimer وينتج من تكوين رابطة تساهمية بين جزئين من البيريميدين متجاوران على نفس DNA أو RNA وهذه الرابطة أكثر ثباتا من الرابطة الهيدروجينية ونتيجة تكوين هذه الرابطة يتكون شريط داخلي intrastrand لجزئ حلقي يسمى cyclobutyl pyrimidine dimer في جزئ DNA والذي يؤدي إلى طفرة أو موت للخلية ؛ البكتيريا والفطريات تحتوي على DNA بينما الفيروسات تحتوي على DNA أو RNA ؛ وكلا الحامضين النوويين مسئولان عن عملية التكرار replication (وهي عملية يتم فيها تكرار تكوين شريط الحامض النووي) وعملية النسخ transcription (وهي عملية يتم فيها نسخ المعلومات الوراثية اللازمة لتخليق البروتين) وتخليق البروتينات وبالتالي حدوث هذه الرابطة يمنع الحماض النووية من القيام بهذه المهام التي تؤدي في النهاية لتكاثر الخلايا الحية سواء كانت فيروسات أو بكتيريا او غيرها مثل البروتوزوا

يتم وقف نشاط أو تثبيط البكتيريا وفيروسات التي تحتوي على DNA وقد وجد أن جرعة قدرها $4.5J/m^2$ يمكنها التسبب في تكوين 50000 جزئ ثنائي البيريميدين pyrimidines dimer للخلية كما وجد أن

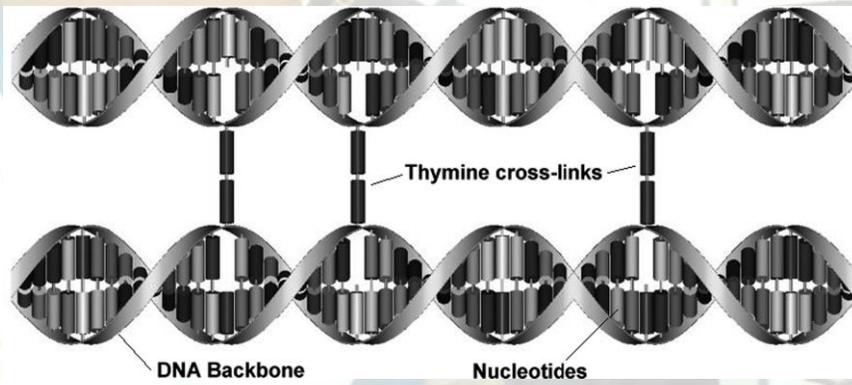
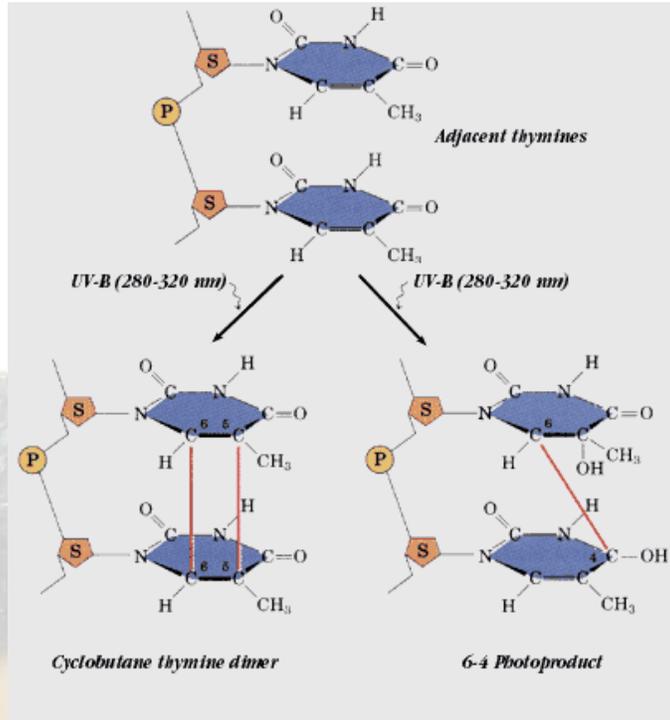
100J/m² يمكنها 7 جزئ ثنائي البريميدين لكل جينوم فيروسي SV40 مما يؤدي لوقف تخليق جزئي DNA

تتابع القواعد في جزئ DNA يؤثر على احتمالية تكوين الجزيئات المزدوجة dimerization حيث تكون البريديميدات المتجاورة (T&C) أكثر نشاطا ضوئيا من البيورينات المتجاورة (A&G) وقد وجد أن 80% من البريميدينات فقط 45% من البيورينات تكون هذه الجزيئات الثانية dimers في جزئي DNA مزدوج الشريط



2-بيريميدين 6-4 بيريميدينون pyrimidine 6-4 Pyrimidone photoproduct

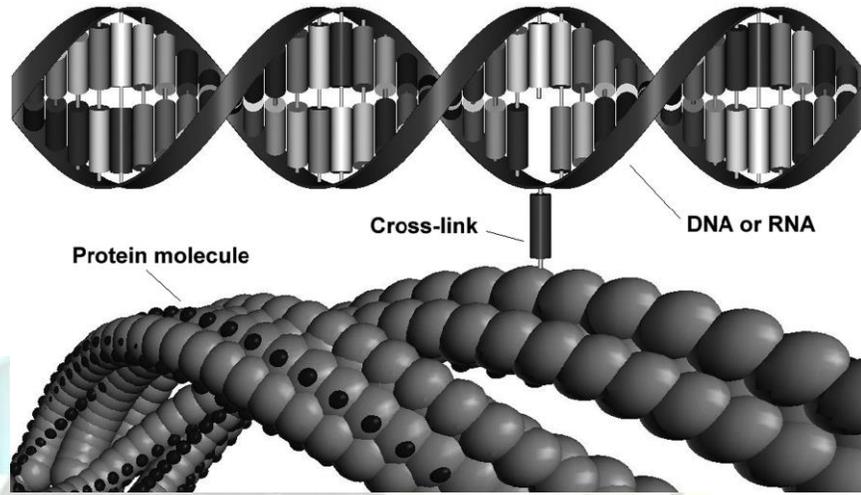
يمكن أن يحدث الترابط المتقاطع بين قواعد T الغير متجاورة



3-رابطة تقاطعية تساهمية بين بروتين وشريط DNA

يمكن أن يحدث الترابط أيضا بين النيكلوتيد والبروتين في كبسولة الفيروسات مما يؤدي لتعطيم كبسولة DNA

للفيروس



يمكن أن يتم الترابط المتقاطع أيضا بين C&G ولكنه يحتاج لطاقة أكبر بسبب وجود ثلاث روابط هيدروجينية بين C&G بدلا من رابطتين في حال T&A .

بعض الجزيئات البيولوجية الأخرى التي تحتوي على روابط غير مشبعة مثل مساعد الإنزيمات coenzymes والهرمونات و جزيئات التي تحمل الألكترونات كلها تتحطم بفعل الأشعة فوق البنفسجية .

الفيروسات المحتوية على RNA يتم تثبيط نشاطها من خلال تكوين جزيئ ثنائي من اليوراسيل U-dimer حيث يتحول 95% من قواعد اليوراسيل في خلال 10 دقائق من تعرضها للأشعة فوق البنفسجية لجزيئات ثنائية .

أهم نواتج تأثير الشعة فوق البنفسجية على جزيئ RNA هو pyrimidine hydrates ومركب cyclobutadiprimidines ؛ والفيروسات مزدوجة شريط RNA أكثر مقاومة لتأثير الأشعة فوق البنفسجية من مفردة الشريط RNA .

أهم نواتج تأثير الشعة فوق البنفسجية على جزيئ DNA الجزيئات الثنائية مثل T-T, TC , & C-C .

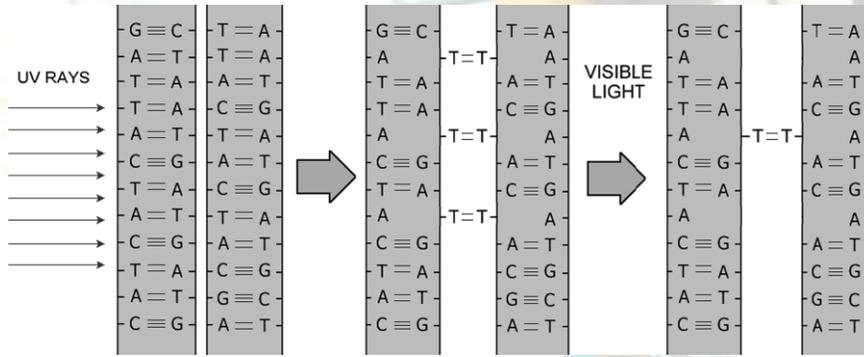
حركية تثبيط نشاط البكتيريا بالأشعة فوق البنفسجية مماثل لعملية تثبيط نشاط الفيروسات فيما عدا أنها تمتلك حماية أكثر من الفيروسات وقد وجد مثلا انه عند تعرض الإشريشيا كولاي للأشعة بمقدار $1\text{J}/\text{m}^2$ يتكون 65 جزيئ ثنائي لكل 10^7 نيكلويد .

2-17-3 إعادة تنشيط الخلايا cell reactivation

تمتلك معظم الكائنات الحية وخصوصا البكتيريا نظام إنزيمي وآليات تستطيع إعادة تنشيط الخلية مرة أخرى ؛ ويقسم عمليات إعادة تنشيط الخلايا او اصلاحها إلى إعادة تنشيط أو إصلاح ضوئي photoreactivation و إعادة تنشيط في غياب الضوء dark reactivation (وقد يقال أيضا photorepair أو dark repair)

2-17-4 إعادة التنشيط الضوئي photoreactivation

تستطيع البكتيريا تحويل جزيئ الثيمين الثنائي T-dimer بالتحلل المائي وبفعل إنزيم خاص يسمى DNases والذي ينشط في وجود ضوء 310nm-490nm أي في منطقة الطيف المرئي من الطيف الكهرومغناطيسي حيث يقوم الإنزيم بكسر الرابطة التساهمية بين شقي جزيئ البريميدين الثنائي أو جزيئ T-dimer لحالته الطبيعية في شريط DNA ؛ يمتص thiamine dimer الضوء في المنطقة المرئية (الزرقاء) ويقوم بعملية إعادة التنشيط كما يلي :



وقد وجد ان البكتيريا تحتوي على هذه الإنزيمات بينما لا تحتوي الفيروسات عليها ولكنها تستخدم إنزيمات الخلية المضيفة في هذه العملية كما وجد أن طفيل الجارديا لا يقوم بعملية إعادة التنشيط الضوئي عندما يتعرض لجرعة من الشععة فوق البنفسجية $16-40\text{mJ/m}^2$ ولكن يمكنها إعادة تنشيط ضوئي إذا كانت الجرعة 0.5mJ/m^2 ؛ وجد أيضا أن طفيل الكريبتوسبورديوم cryptosporidium لا تستطيع العدوى مرة أخرى بعد

تنشيطها بالأشعة فوق البنفسجية وإن كانت بعض الدراسات التي أجريت مؤخرا تؤكد أنها تستطيع القيام ببعض إعادة التنشيط الضوئي المحدود ومع هذا لا تستطيع أيضا القيام بالعدوى طبقا لنفس الدراسة .

تتم عملية التنشيط أيضا في غياب الضوء او الظلام ويسمى dark reactivation

تتم عملية التنشيط الضوئي photoreactivation في وجود إنزيم ينشط العملية يسمى الفوتوليز photolase

enzyme وتتم في خطوتين الأولى تخليق مترابك إنزيم- مادة التفاعل عند منطقة حدوث الضرر في

DNA وفي غياب الضوء والخطوة الثانية هي تفاعل ضوئي يتم فيه امتصاص الطاقة الضوئية وإصلاح

الضرر الحادث بشق الجزيء الثنائي pyrimidine dimer وتحويله لجزيء أحادي في عملية تسمى الجزيء

الأحادي monetization ويكون thiamine dimer الأسرع في التحول مرة أخرى إلى thiamine

. monomer

2-17-5 إعادة التنشيط في الظلام dark reactivation

يعرف بأنه إعادة التنشيط الذي لا يحتاج ولا يشترط لحدوثه وجود الضوء ؛ (يجب ملاحظة أنه تعبير مجازي

ويعتبر خاطئ لأن هذا النوع من إعادة التنشيط يمكن أيضا أن يتم في وجود الضوء)

*النوع الأول من أنواع إعادة التنشيط في الظلام يتم من خلال عدة إنزيمات مختلفة يجب تنشيطها في البداية

بمصدر للطاقة قد يكون ضوء (300nm-500nm) وقد يكون مغذيات داخل الخلية نفسها بدلا من

الإنزيمات ؛ العملية تتطلب انزيمين على الأقل الأول في عملية هي exonuclease system وفيها تتحطم

روابط T-T والثاني في عملية polymerase system ويتم فيه إعادة تركيب قاعدة T في مكانها الأصلي.

يمكن تحطيم الإنزيمات التي تساعد على إعادة تنشيط الخلايا من خلال اصلاح DNA اذا تم تعريضها لطول

موجي غير 253.7nm المستخدم في تحطيم جزيئات DNA من خلال تكوين الجزيء الثاني T- dimer

وقد وجد ان استخدام اللمبات متوسطة الضغط -عالية الشدة MP-HI يمكن أن تؤدي هذا الغرض حيث ثبت

عملية إعادة التنشيط من خلال الطول الموجي واسع النطاق لهذه اللمبات والذي يلحق الضرر بالإنزيمات المسؤولة عن إعادة التنشيط .

يتم تشتيت جزء من الأشعة بواسطة الخلايا الحية نفسها فقد وجد أن اشعة عند طول موجي 254nm تستطيع اختراق الإشيريشياكولاي بنسبة 70% فقط بينما يتم تشتيت 30% من الأشعة أو تمتص مما يقلل من كمية الشعبة التي يمكن ان تصل لجزيئات DNA .

*النوع الثاني من أهم أنواع هذا التنشيط هو إعادة التنشيط الإستصالي excision repair وهو عملية توسط إنزيمي يتم فيها استئصال الجزء المعطوب (الذي تكون في جزئي ثنائي dimer) من DNA وإعادة تخليقه من الشريط المكمل DNA ومن ثم لا يحدث هذا النوع من إعادة التنشيط إلا للخلايا التي تمتلك شريط مزدوج من DNA أو RNA ؛ في البكتيريا والبروتوزوا تبدأ هذه الآلية لإعادة التنشيط بعد تعرض الكائن الحي مباشرة للأشعة فوق البنفسجية إلا انه أيضا لا تمتلك بعض أنواع البكتيريا هذا الإنزيم الذي يمكنها من إعادة التنشيط ؛ الفيروسات أيضا لا تمتلك هذا الإنزيم ولكنها تستخدم إنزيمات الخلية المضيفة ؛ تستطيع الكريتوسبورديوم القيام بالآلية ولكنها لا تصبح معدية ولا القيام بالعدوى بينما الجارديا لا تستطيع القيام بالآلية إذا تم التطهير عند $16\text{nm}-40\text{nm mJ/m}^2$.

وبصفة عامة لا يعتمد الإستجابة لجرعة الأشعة فوق البنفسجية UV dose response للعوامل التالية :

1-شدة UV حيث تتبع الإستجابة لجرعة الأشعة UV قانون الإنعكاسية في مدى $(1-200\text{mW/cm}^2)$ حيث يتم الحصول على نفس المستوى من تثبيط الكائنات الحية بجرعة UV بغض النظر الحصول على هذه الجرعة من شدة عالية للأشعة فوق البنفسجية وزمن تعرض قصير أو العكس

2-إمتصاص أشعة UV :يكون امتصاص الأشعة معتبرا عند قياس جرعة UV ويكون زيادة الشدة أو زمن التعرض ضروري للحصول على جرعة ثابتة عندما يتغير الإمتصاص في الوسط

3-تأثير درجة الحرارة : يكون تأثير الحرارة صغير جدا ويعتمد على نوع الكائن الحي فمثلا لا يتأثر تثبيط نشاط لاقمات البكتيريا الذكورية من النوع MS2 بدرجة الحرارة بينما في حالة الإيشريشياكولاي يتم تخفيض الجرعة 10% إذا ارتفعت الحرارة من 5⁰C إلى 35⁰C وحوالي 20% في حالة لاقمات البكتيريا الأنثوية من النوع F2

4-لا تتأثر الجرعة بالرقم الهيدروجيني في مدى PH = 6-9

6-17-2 العوامل التي تؤثر على فاعلية التطهير بالأشعة فوق البنفسجية

1-الجسيمات تعتبر الجسيمات التي تحتوي وتحمي الكائنات الحية من أهم العوامل التي تؤثر سلبا على شدة الأشعة المطبقة وتوزيعها عبر المفاعل ومن أهم الكائنات بكتيريا القولون التي تتواجد مشتتة كخلايا مفردة او ملتصقة بالجسيمات أو داخل الجسيمات وقد تكون الجسيمات مستعمرة تتضمن العديد من الخلايا في شكل ندف أو أنسجة ميتة ؛ وتعتبر الكوليفورم الأكثر اهتماما لأنها يتم اتخاذها كمعيار لجودة المياه المعالجة أو كمؤشر على وجود أو عدم وجود الكائنات الحية الممرضة الأخرى ؛ يتم تثبيط نشاط بكتيريا القولون الحرة المشتتة بسهولة لأنها تتعرض تماما للأشعة بينما يتم حماية الخلايا التي تلتصق او تكون داخل الجسيمات او الندف من تأثير الأشعة ؛ وقد وجد في مياه الصرف الصحي أن الجسيمات التي تبلغ 10µm يمكنها أن تحمي الكوليفورم من تأثير الأشعة وقد وجد أن الجسيمات الأصغر من من هذا الحجم الحرج لا يستطيع حماية البكتيريا بسبب الطبيعة المسامية لجسيمات مياه الصرف ويتم تثبيط البكتيريا بنفس السلوب التي تثبط به نشاط البكتيريا الحرة المشتتة بينما الجسيمات الأكبر تستطيع حماية البكتيريا من تأثير الأشعة ؛ كما لا يبدو في نفس الوقت أن حجم الجسيمات هو العامل الذي يحكم العملية لأنه بمجرد زيادة حجم الجسيمات عن الحجم الحرج تكون بكتيريا الكوليفورم موزعة عشوائيا في كل الجسيم وليس فقط في عمق الجسيمات حيث تتمتع بالحماية من الأشعة .

2- خواص الكائنات الحية : تمثل خواص الكائنات الحية عملية معقدة نوعا ما لأن المعرفة الخاصة بتأثير الأشعة على الكائن الحي ومقدار الجرعة اللازمة لتنشيط نشاطه تتغير بتغير وسائل وطرق التحليل للكشف عن الكائن الحي بعد التطهير لمعرفة نسب تثبيط نشاط الكائن من خلال نسبة الكائن الحي التي لم تتأثر بالأشعة وكلما تطورت طرق التحليل والكشف عن الكائنات الحية اختلف فهمنا لمقدار الجرعة فعلى سبيل المثال كان يعتقد سابقا أنه يلزم لتنشيط نشاط كل من الكريبتوسبورديوم بارفيوم *cryptosporidium parvium* والجارديا لامبليا *giardia lamblia* ليس أقل من 200mW.s/cm^2 بينما أكدت الطرق الحديثة في الكشف عنها أنه يلزم فقط $5-15\text{mW.s/cm}^2$

3- المكونات الكيميائية لمياه الصرف : قد يكون تأثير الكيماويات الموجودة في مياه الصرف مباشر عن طريق زيادة إمتصاص الأشعة أو غير مباشر عن طريق اتساخ غطاء حماية اللمبات مما يقلل من نفاذية الأشعة .

لا يؤثر كل من BOD , COD, TOC أو قد يكون تأثيرها ضعيف جدا إلا إذا كان الهيوميك ومركباته تمثل قدر كبير من المواد العضوية ؛ الزيوت والشحوم تلتصق بغطاء حماية اللمبات وتمتص الأشعة ؛ والمواد الصلبة العالقة TSS تمتص الأشعة وتحمي الكائنات الحية ؛ تؤثر القلوية على ترسيب الملاح على غطاء اللمبات لأنها تؤثر على قابلية المعادن للذوبان ؛ تسبب العسر ترسب أملاح الكالسيوم والماغنسيوم على غطاء الحماية خصوصا عند درجات الحرارة العالية مما يقلل من نفاذية الأشعة ؛ وقد وجد ان الأمونيا وأيونات الأمونيوم والهيدروكسيد والماغنسيوم الثنائي والمنجنيز الثنائي والكالسيوم الثنائي والكبريتات والنترات والنيتريت لا تؤثر بشكل يذكر على نفاذية الأشعة UVT .

يؤثر الرقم الهيدروجيني على ذوبان الأملاح والكربونات وبالتالي على نفاذية الأشعة التي يحتمل ترسيبها على غطاء الحماية ؛ الأملاح الذائبة الكلية تشجع ترسيب الملاح على الغطاء

4-اتساخ غطاء حماية اللمبات lamp fouling : اتساخ غطاء حماية اللمبات يقلل نفاذية الأشعة UVT واتساخ شباك متابعة حساس قياس شدة الأشعة يقلل من القيمة المقاسة لشدة الضوء وجرعة الشعة التي يتم متابعتها .

يؤثر عمر اللمبات على شدة الأشعة التي تصدر منها كما يؤثر أيضا اتساخ غطاء الحماية على UVT وكلا من العاملين يؤثر على جرعة الأشعة ويعبر عن الجرعة اللازمة من الأشعة بناء على وجود هذه العوامل بالعلاقة التالية :

الجرعة من اللمبات النظيفة X عامل الإتساخ X عامل عمر اللمبة \leq الجرعة اللازمة

يتراوح عامل الإتساخ/عامل عمر اللمبة بين 0.4-0.9 وعادة يكون عامل العمر 0.5-0.8 وعادة يكون عمر غطاء الحماية 9000 ساعة أو عام وعمر اللمبات سواء LP أو MP 8000-12000 ساعة .

القلوية والحرارة والعسر وتركيزات الأيونات وجهد الأكسدة والإختزال ORP والرقم الهيدروجيني يؤثر على معدل سرعة اتساخ غطاء الحماية لللمبات sleeve .

المركبات التي تقل قابليتها للذوبان كلما زادت درجة الحرارة مثل كربونات وكبريتات الكالسيوم والماغنسيوم وفوسفات وكربونات الحديد وكبريتات الألومنيوم تترسب مما يسبب اتساخ اللمبات وتكون اللمبات MP-HI أسرع من اللمبات LP-LI و LP-LH لأنها تعمل عند درجات حرارة مرتفعة .

التفاعلات الكيموضوئية التي لا تعتمد على درجة حرارة غطاء الحماية نسبب أيضا اتساخ الغطاء ؛ كما أن المركبات ذات الذوبان المنخفض مثل $Fe(OH)_3$ و $Al(OH)_3$ ولذلك يجب ضبط جرعات أملاح الحديد والألوم في المحطات التي تستخدمهما في المعالجة .

تترسب الجسيمات العالقة في المياه بالجاذبية وتسبب اتساخ الغطاء ؛ يتم اتساخ عضوي للمفاعل إذا تم إيقاف تشغيله وتركه مدة طويلة وهو مملوء بالمياه .

وجد أن عدد 1-12 دورة تنظيف للمبات MP-HI , LP-LI و LP-LH كل ساعة كافي للتغلب على اتساخ sleeve في المياه التي يكون فيها العسر الكلي وعسر الكالسيوم أقل 140 mg/L وحديد أقل من 0.1 mg/L .

كما تتأكسد المكونات الغير عضوية وتترسب على الغطاء أيضا ولا يعزى الإتساخ الغير عضوي للعسر وتركيز الحديد فقط حيث يعتمد ذوبان المكونات الغير عضوية على حالة التاكسد والإختزال والتي تتأثر بكل من الرقم الهيدروجيني PH و جهد الأوكسدة والإختزال ORP للمياه (جهد الأوكسدة والإختزال هو مقدرة المياه على إحداث أكسدة أو إختزال لمكوناتها) وتستخدم قيم كل منهما في توقع حالة الأوكسدة للمكونات الغير عضوية في المياه وقد وجد أنه كلما زاد ORP زاد معدل سرعة الإتساخ ؛ وفي بعض أنواع المياه التي يكون فيها ORP عالي يمكن تقليل الإتساخ لأقل درج إذا تم إزالة الحديد والمنجنيز بالأوكسدة والترسيب والترشيح .

مركبات الحديد (مثل كلوريد الحديدك) والبرمنجنات وغيرها المستخدمة في المعالجة تمتص أيضا الأشعة وتقلل UVT ولكل مادة تركيز حرج تقل عنده نفاذية الأشعة UVT عند 254nm من 91% إلى 90% ؛ التركيز الحرج للحديد الثلاثي 0.057 mg/l وللثنائي 9.6 mg/l والأوزون 0.071 mg/l والهيبوكلوريت 8.4 mg/l والثيوسلفات 2.7 mg/l

الجدول التالي يبين الإمتصاص المولاري لكل مادة والتركيز الحرج الذي عنده يبدأ العنصر او المادة في امتصاص الأشعة وتقليل النفاذية :

Compound	Molar absorption coefficient $M^{-1}cm^{-1}$	Impact threshold concentration mg/L
O3 aqueous	3250	0.071
Fe ³⁺	4716	0.057
MnO ₄ ⁻	657	0.91
S ₂ O ₃ ⁻	201	2.70
ClO ⁻	29.5	8.40
H ₂ O ₂	18.7	8.70
Fe ²⁺	28	9.60
SO ₃ ²⁻	16.5	23
Zn ²⁺	1.7	187

الحديد يمتص الأشعة بقوة كما يمكن أن يترسب على غطاء الحماية ويقلل نفاذية الأشعة كما يستطيع الحديد ادمصاص المواد الصلبة العالقة ويحمي الكائنات الحية من تأثير الأشعة.

كما يسبب نمو الطحالب اتساخ اللمبات وتقليل نفاذية الأشعة UVT ووجد ان العد الطحلي حتى 70000 cell/mL لا يؤثر على أداء عملية التطهير

5- إضافة المواد المؤكسدة قبل المفاعل مثل الكلور والأوزون يزيد من نفاذية الأشعة UVT بتكسير المواد العضوية واختزال المعادن الذائبة وترسيبها؛ إلا ان الأوزون نفسه يعتبر عامل إخماد quenching agent يمتص الأشعة فوق البنفسجية وبالتالي وجود أوزون متبقي سوف يقلل UVT ؛ يتم استخدام مواد كيميائية من أجل إزالة الأوزون المتبقي بحيث تكون هي الأخرى لا تمتص الأشعة مثل بايسلفيت الصوديوم sodium bisulfite لإزالة الأوزون المتبقي ولا يستخدم ثيوسلفات sodium thiosulphate لأنه يمتص الأشعة فوق البنفسجية ويقلل UVT .

6- نمو الطحالب أيضا يقلل UVT ويعتمد نموها على المغذيات في المياه وهيدرولوجيا المفاعل (المناطق الميتة التي ليس بها حركة كافية) وكمية الضوء المنقولة خلف المفاعل وتنمو الطحالب في حالة اللمبات MP بشكل واضح .

7-17-2 تأثير الأشعة فوق البنفسجية على تركيز الكلور الحر effect of UV on free chlorine concentration

في حال استخدام نظام مزدوج للتطهير بالكلو مع الأشعة فوق البنفسجية يتأثر تركيز الكلور الحر أو الكلي المتبقي بالأشعة حيث ينخفض التركيز حيث يفقد الكلور الحر المتبقي 0.3 mg/L عند جرعة أشعة قدرها 40 mW.s/cm² و يفقد الكلور الحر المتبقي 0.2 mg/L عند جرعة أشعة قدرها 80-120 mW.s/cm²

8-17-2 المنتجات الثانوية للتطهير بالأشعة فوق البنفسجية byproduct of UV disinfection

التطهير بالأشعة فوق البنفسجية بجرعات تصل 200 mW.s/cm^2 لا تغير أيا من : الرقم الهيدروجيني ؛ العكارة ؛ مستوى المواد العضوية الكربونية الذائب ؛ اللون ؛ النترات ؛ النيتريت ؛ البروميد ؛ الحديد ؛ المنجنيز ولا حتى UVT .

تنتج المنتجات الثانوية بشكل مباشر بسبب التفاعلات الكيموضوئية أو بشكل غير مباشر بالتفاعل مع المركبات الناتجة من التفاعلات الكيموضوئية ؛ تحدث التفاعلات الكيموضوئية فقط عندما تمتص المركبات الكيميائية الضوء في مدى طيف UV ويتحول الجزيئات من الحالة المستقرة للحالة المثارة ثم تتفاعل فتنتج مركبات جديدة ويعتمد تركيز المركبات تالجديدة على تركيز المواد التي يتم إثارتها بالضوء وجرعة الأشعة UV.

في حالة مياه الشرب يتم التركيز على تأثير الأشعة في تكوين الهالوجينات DBP's بعد الكلورة وتحويل المواد العضوية لمواد اسهل في الأكسدة ؛ ويعتبر كل من trihalomethane THM's و HAA's من هالوجينات DBP's الخطرة المسرطنة إلا ان جرعة من الأشعة تصل 400 mW.s/cm^2 ليس لها تأثير ولا تساعد على تكوين هذه المركبات حتى في وجود كلورة بعد التطهير بالأشعة .

كما وجد تركيزات منخفضة من مركبات DBP's القابلة للتأكسد مثل الألهيدات إذا تم تطبيق جرعة من الأشعة أكبر من 400 mW.s/cm^2 لمياه الصرف ومياه الشرب الخام ؛ كما لا يحدث أي تغير يذكر عند استخدام الجرعات النموذجية لتطهير مياه الشرب (140 mW.s/cm^2) ؛ كما وجد أنه في مياه الشرب لا يحدث أي زيادة تذكر في تركيز الكربون العضوي سهل الأكسدة بالبكتيريا assimilable organic carbon AOC عند جرعات تتراوح بين $18-250 \text{ mW.s/cm}^2$

يتم تحويل النترات إلى نيتريت عند استخدام اللمبات MP لأنه ينبعث منه طول موجي $<225\text{nm}$ ويكون معدل التحول لا يزيد عن 1% وبالتالي ليس له تأثير صحي يذكر في حالة تطهير مياه الشرب .

2-17-9 التطهير بالأشعة مقابل وسائل التطهير التقليدية UV disinfection vs traditional disinfection methods

من مميزات التطهير بالأشعة فوق البنفسجية أنها ليس لها منتج ثانوي خطير في مدى الجرعات المستخدمة لتطهير مياه الشرب وحتى مياه الصرف على السواء كما يمكن لها تثبيط نشاط طفيليات مثل الكريبتوسبوديوم والجارديا التي تحتاج جرعات عالية جدا من الكلور للتخلص منها في مياه الشرب وبالتالي يمكن استخدامها في التطهير الابتدائي لمياه الشرب بدلا من الكلور ومن ثم تخفيض المنتجات الثانوية التي تنتج في حال استخدام الكلور أيضا ؛ جرعة الشعبة المستخدمة لتثبيط نشاط من هذه الطفيليات أقل من الجرعة اللازمة لتثبيط نشاط الفيروسات بينما يستطيع الكلور وقف نشاط الفيروسات بسهولة .

يختلف تأثير المواد الكيميائية المطهرة والجرعات المستخدمة عن بعضها وعن الأشعة فوق البنفسجية وكما تختلف التكلفة الإقتصادية لأستخدام أي منها للحصول على مستوى التطهير المستهدف للمياه disinfection log ؛ كما أن استخدام وسيلة تطهير واحدة لا يحقق مستوى التطهير المطلوب وإذا حقق ذلك تكون التكلفة باهظة لذلك يستحسن استخدام أكثر من وسيلة تطهير معا لهذا الغرض .

لا يمكن للتطهير بالأشعة زحدها أن يحل محل التطهير بالمواد الكيميائية للأسباب التالية :

*أنظمة تطهير المياه السطحية بهدف استخدامها للشرب تستلزم وجود نسبة حرة خلال سريان المياه بالشبكات ولا يتوفر هذا للأشعة التي لا تترك متبقي كما في الكلور والأوزون
*الأشعة غير فعالة في وقف أو تثبيط نشاط الفيروسات مثل الكلور

*نحتاج لأكسدة بعض مكونات المياه مثل الحديد والمنجنيز والمركبات المسببة للرائحة والطعم وهذا ما تقوم به الشعبة.

*بعض أنظمة معالجة المياه تضخ كلور لتخفيض نمو الطحالب في أحواض الترسيب .

وبالتالي تظل الحاجة للكلور في حالة استخدام الأشعة في التطهير ضرورة مؤكدة وقد لوحظ أنه في استخدام نظام ثنائي من الأشعة والكلور يتم تخفيض في جرعة الكلور الحر المتبقى بين 0.1-0.7mg/L على مدى واسع من جرعات الأشعة المستخدمة للتطهير يجب أخذها في الإعتبار عن تطبيق جرعات الكلور المطلوبة .

في حال استخدام هذا النظام الثنائي يتم ضخ الكلور بعد التطهير بالأشعة لأسباب أهمها

*إذا كان المستهدف تثبيط نشاط الفيروسات (لأن الجرعة اللازمة لتثبيطها من الأشعة عالية جدا) كما يتم استخدام الجرعات المناسبة من الشعبة لتجنب استخدام جرعات زائدة من الكلور نظرا لتأثير الشعبة على الكلور الحر كما ذكرنا من ناحية وأيضا لتفعيل تطهير الشعبة بالشكل الفعال على الجراثيم التي تستطيع الشعبة تثبيط نشاطها بسهولة أكبر من الكلور .

*وجود الكلور الحر يرفع ORP ومن ثم يسبب اتساخ غطاء الحماية sleeve خصوصا إذا وجد الحديد والمنجنيز ولو بتركيزات منخفضة حيث يساعد على أكسدتهما وترسيبهما على الغطاء حيث وجد أنه في حالة وجود ORP عالي للمياه فإن تركيزات أقل من مستوى التركيز الثانوي الأعلى للحديد SMCL وبالتالي يفضل وجود حقن الكلور بعد لمبات التطهير بالأشعة أو أكسدة وترسيب الحديد والمنجنيز بإضافة برمنجنات البوتاسيوم في حوض الترسيب الثانوي .

وكما ذكرنا أن الأوزون لو تم استخدامه للتطهير قبل التطهير بالأشعة يزيد من نفاذية الأشعة UVT بتكسير المواد العضوية واختزال المعادن الذائبة وترسيبها ؛ إلا ان الأوزون نفسه يعتبر عامل إخماد quenching agent يمتص الأشعة فوق البنفسجية وبالتالي وجود أوزون متبقي سوف يقلل UVT ؛ يتم استخدام مواد كيميائية من أجل إزالة الأوزون المتبقي بحيث تكون هي الأخرى لا تمتص الأشعة مثل بايسلفيت الصوديوم sodium bisulfite لإزالة الأوزون المتبقي ولا يستخدم ثيوسلفات sodium thiosulphate لأنه يمتص الأشعة فوق البنفسجية ويقلل UVT ؛ لذلك يفضل أيضا أن يكون التطهير بالأوزون بعد التطهير بالأشعة .

يمكن تعظيم الإستفادة وتقليل تكلفة نظام التطهير بالأشعة من خلال المعالجة السابقة لعملية التطهير بالأشعة مثل التخثير والتنديف والترسيب والترشيح مما يقلل المواد الصلبة العالقة ويزيد UVT ؛ إلا انه يؤخذ بالإعتبار أن الكيماويات المستخدمة في المعالجة تؤثر على كفاءة التطهير بالأشعة ؛ ولا يحبذ استخدام التطهير قبل الترشيح بل يفضل بعد الترشيح لتجنب تأثير المواد الصلبة العالقة السلبية .

10-17-2 تقادم لمبات الأشعة فوق البنفسجية UV lamp aging

مع مرور الوقت وزيادة عمر اللمبات في الخدمة تتحلل محتويات اللمبات ويقل إنتاجها الضوئي من أشعة UV تدريجيا عبر الوقت ويرجع تقادم اللمبات إلى عاملين هما طول الفترة الزمنية في الخدمة واتساخ اللمبات lamp fouling ويكون تحلل اللمبات بسبب التقادم بسبب عامل الإتساخ/ التقادم fouling/aging في لمبات LP و MP ويكون دالة في عدد ساعات تشغيل اللمبات وعدد دورات تشغيل وإيقاف اللمبات والطاقة المطبقة لوحدة الطول من اللمبات ودرجة حرارة المياه ومعدل انتقال الحرارة من اللمبات كما أوضحت الدراسات أن إنتاجية الضوء من اللمبات LP-HI و MP لا تكون موحدة بالنسبة للإنتاجية المحورية والأفقية وتختلف من لمبة لأخرى في اللمبات المستخدمة في تطهير مياه الشرب والصرف المعالجة على السواء.

أي ترسبات على الأسطح الداخلية او الخارجية لغلاف اللمبة والشوائب المعدنية ضمن الغلاف تمتص الأشعة UV وتسبب ما يسمى الشيخوخة المبكرة لللمبات ؛ في لمبات LP-HI و LP-LI والتي تستخدم زجاج ناقل (يسمح بنفاذ) UV يتفاعل الزئبق مع الصوديوم مكونا طبقة تطلي الزجاج وتمتص UV ؛ وعندما يطول عمر اللمبة في الخدمة تبدأ ظاهرة sputtering electrode نتيجة التشغيل المتكرر لأنه يبدأ تشغيل اللمبات عند طاقة عالية للتسخين المبدئي وحيث أن الضغط يكون منخفض داخل اللمبات يحدث قذف عند بداية التشغيل يطلي السطح الداخلي للغلاف بطبقة من التنجستن سوداء اللون غير متجانسة التوزيع تتركز في بضع سنتيمترات من الأكتروود و تمتص UV .

إذا لم يتم تبريد اللمبات بشكل كافي أثناء التشغيل فإن مادة الكترود لمبات MP يمكن أن تتبخر وتتكدف في داخل غلاف اللمبات .

في اللمبات الحديثة يتم التغلب على ظاهرة electrode sputtering بالتسخين السابق للألكترود قبل تطبيق فولت بدء التشغيل مدفوعا بتيار موجي أو بإستخدام غاز الأرجون بكميات مناسبة .

يمكن تقليل ظاهرة electrode sputtering بتقليل عدد اللمبات التي يتم لها بدء تشغيل أثناء عملية التشغيل .

وكما ذكرنا يؤثر عمر اللمبات على شدة الأشعة التي تصدر منها كما يؤثر أيضا إتساخ غطاء الحماية على UVT وكلا من العاملين يؤثر على جرعة الأشعة ويعبر عن الجرعة اللازمة من الأشعة بناء على وجود هذه العوامل بالعلاقة التالية :

الجرعة من اللمبات النظيفة X عامل الإتساخ X عامل عمر اللمبة \leq الجرعة اللازمة

يتراوح عامل الإتساخ/عامل عمر اللمبة بين 0.4-0.9 وعادة يكون عامل العمر 0.5-0.8 وعادة يكون

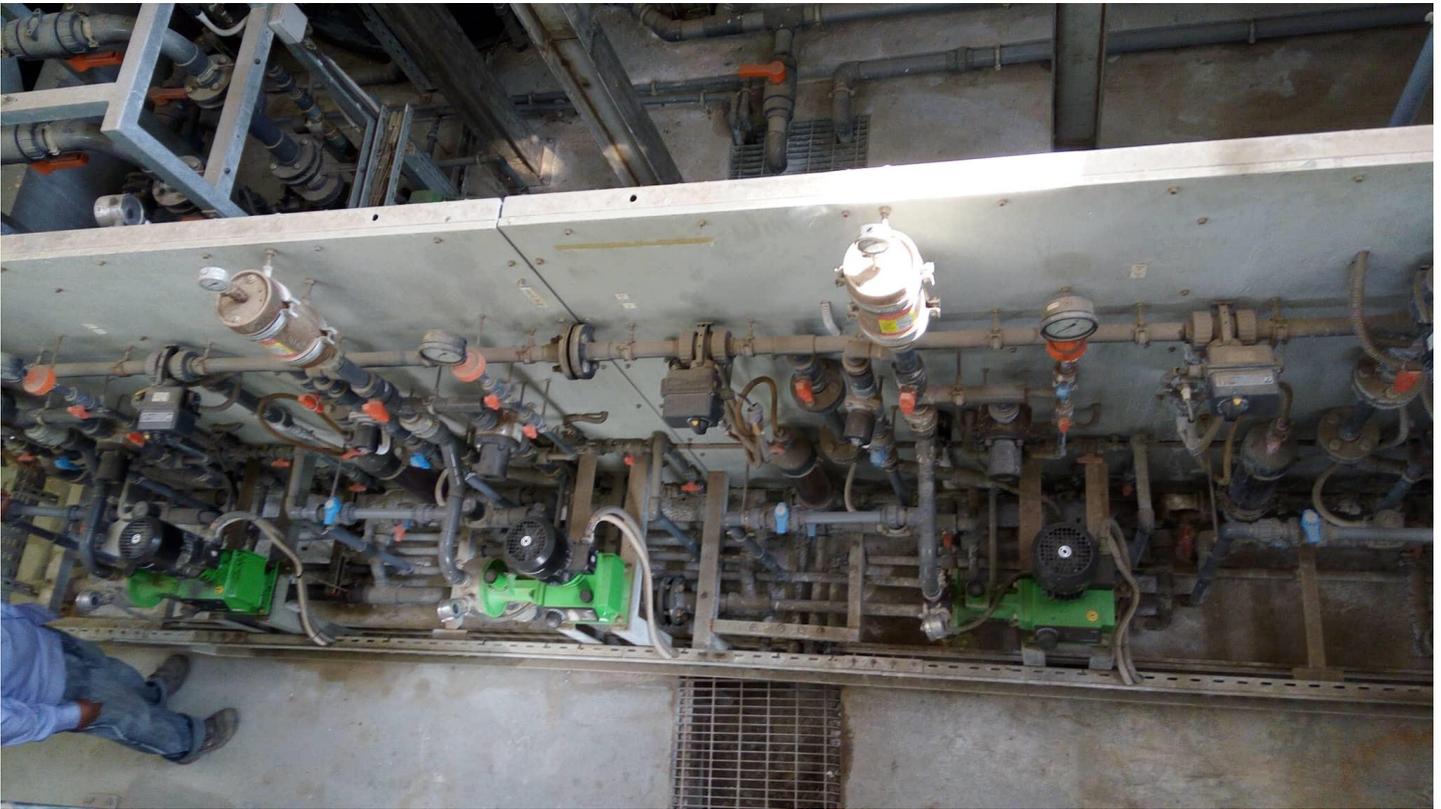
عمر غطاء الحماية 9000 ساعة أو عام وعمر اللمبات سواء LP أو MP 8000-12000 ساعة



2-18-1 حساب الجرعات

الكلور هو أحد أكثر المطهرات استخداما منذ عام 1914؛ ويستخدم في صورة متعددة هي الكلور Cl_2 و هيبوكلوريت الصوديوم $NaOCl$ وهيبوكلوريت الكالسيوم $Ca(OCl)_2$ وثاني أكسيد الكلورين ClO_2 يقضي على نسبة تصل >99.99 من بكتيريا القولون الكلية والغائطية و 90% من الفيروسات المعوية و 5% من الجارديا لامبليا و $<10\%$ من أكياس الكريبتوسبورديوم بارفيوم .

تم تصميم الوحدة لغرضين الأول استخدام الوحدة في حالة الطوارئ لتكون بديلا لوحدة التطهير بالأشعة فوق البنفسجية في حال صيانتها أو تعطيلها بتركيز إلى 20 ppm أو في حالة عمل صيانة لها والثاني هو للمحافظة على المرشحات من النمو البكتيري والطحلي ومنع اتساخ المرشحات بجرعة تتراوح بين 4ppm - 5ppm ؛ ويستخدم الكلور البودرة هيبوكلوريت الكالسيوم وبتركيز 18%



مضخات تجريب الكلور لتطهير المنتج النهائي في حالة تعطل وحدة الأشعة فوق البنفسجية كم تستخدم اختياريًا في تطهير المرشحات لمنع النمو البكتيري والطحلي

حجم محلول الكلور السائل اللازم عند متوسط تدفق يومي $200000\text{m}^3/\text{d}$ وتركيز هيبوكلوريت الكالسيوم هيبوكلوريت 65%

$$\text{Daily required Ca(OCL)}_2 \text{ kg} = \frac{200000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 0.020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{\frac{65}{100}}$$

$$\text{Daily required Ca(OCL)}_2 \text{ kg} = \mathbf{6153.6 \text{ kg/d}}$$

$$\text{hourly required Ca(OCL)}_2 \text{ kg} = \mathbf{256.4 \text{ kg/hr}}$$

لتحضير محلول تركيز 18% من هيبوكلوريت الكالسيوم للوزن المطلوب 256.4 kg/hr يكون حجم الجرعة المطلوبة بالتر :

$$\text{hourly required Ca(OCL)}_2 \text{ m}^3 = \frac{256.4 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}}{180 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = \mathbf{1.424 \text{ m}^3/\text{hr}}$$

$$\text{hourly required Ca(OCL)}_2 \text{ L} = \mathbf{1.424 \text{ m}^3/\text{hr} * 1000\text{L}/\text{m}^3 = 1424\text{L}/\text{hr}}$$

تم تزويد وحدة التطهير بعدد 4 مضخة (3+1) لحقن للكلور السائل تصرف المضخة 500 l/hr تعمل 3 مضخات بشكل أساسي وعدد 1 مضخة احتياطية لتحقق المضخات الثلاثة 1500 L/hr بعامل أمان :

$$\text{SF} = \frac{1500 \text{ L/hr}}{1424\text{L}/\text{hr}} = \mathbf{1.05}$$

تم تجهيز الوحدة لتحضير محلول تركيز 18% بخزان سعة 10m^3 مزود بخلاط لتقليب وإذابة هيبوكلوريت الكالسيوم وعدد 2 مضخة واحدة أساسية والأخرى احتياطية بتصرف 10m^3 لنقل السائل لخزانات الحقن وهي عدد 2 خزان سعة الواحد 5m^3 .



تستخدم الوحدة في حال فشل نظام التطهير بالأشعة فوق البنفسجية بشكل إحتياطي للتطهير ويكون متوسط حقن الكلور السائل يكون عادة بين 4-5 ppm للمياه المعالجة وتختلف الجرعة باختلاف جودة المياه المعالجة ثانياً .

$$\text{Daily required Ca(OCL)}_2 \text{ kg} = \frac{200000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 0.005 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 100}{65} = 1538.5 \text{ kg/d}$$

$$\text{hourly required Ca(OCL)}_2 \text{ kg} = 64 \text{ kg/hr}$$

ولمنع النمو الطحلي وإنسداد الفلاتر يوصى بحقن جرعة من الكلور في مياه الغسيل العكسي بتركيز **20 ppm** كل **5-10** مرات غسيل عكسي ويكون الكلور المستهلك في اليوم نتيجة هذه الجرعة (حيث أنه يتم

غسيل عكسي لمرشح واحد يوميا من عدد 15 مرشح + رشح إحتياطي فإن جرعة الحقن ستكون يوميا لمرشح (

حجم الكلور اليومي اللازم للجرعة الطارئة لمنع إنسداد المرشحات :

$$\text{Ca(OCL)}_2 / 5 \text{ backwash consumption} = \frac{1300 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 20 \text{ppm} * \frac{1000}{1000000} \text{kg/m}^3}{0.65}$$

$$\text{Ca(OCL)}_2 / 5 \text{ backwash consumption} = \mathbf{40 \text{ kg/d}}$$

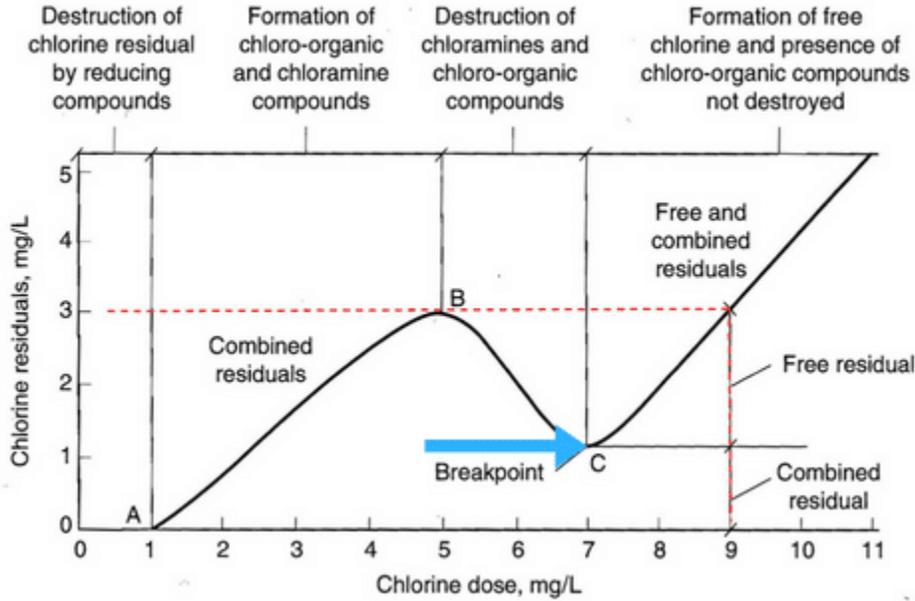
2-18-2 نقطة إنكسار الكلور chlorine break point

*الكلور Cl_2 يوجد في صورة غاز أو سائل ؛ الغاز أصفر مخضر اللون وأثقل من الهواء 2.48 مرة بينما السائل لونه شاحب وأثقل من الماء 1.44 مرة ؛ يتم تبخير الكلور السائل لغاز في ظروف قياسية كل لتر من الغاز السائل يعطي 450 لتر من الغاز ؛ الكلور متوسط الذوبان في المياه بنسبة 1% عند درجة 10°C ؛ يتم تعبئته كغاز مسال في اسطوانات تحت ضغط عالي تزن الاسطوانة 45kg و 68kg و 908kg (الاسطوانة الطننية) يتم إختيار الاسطوانة طبق لمعدل الإستهلاك .

الوزن الجزيئي للكلور 70.91g ودرجة الغليان 33.97°C و درجة الإنصهار 100.98°C و الحرارة الكامنة للتبخير عند 0°C هي 253.6kJ/kg وكثافة السائل عند 15.5°C هي 1422.4 kg/m^3 وذوبانه عند 15.5°C هو 7g/l والكثافة النوعية عند 0°C هي 1.468 وكثافة البخار عند 0°C و 1 atom هي 3.213 kg/m^3 وكثافته بالنسبة للهواء عند 0°C و 1 atom هي 2.49 والحجم النوعي للبخار عند 0°C و 1 atom هو $0.3112 \text{ m}^3/\text{kg}$ ودرجة الحرارة الحرجة 143.9°C و الضغط الحرج 7811.8 kpa

يعتبر هيبوكلوريت الصوديوم والكالسيوم أكثر أمانا في التعامل والنقل من الغاز ؛ تركيز هيبوكلوريت الصوديوم عند التعبئة 12.5%-17% لأنه يتكسر بفعل الحرارة والضوء ويقل تركيزه مع الوقت فمثلا المحلول الذي يكون تركيزه 16.7% ومخزن عند درجة حرارة 26.7°C سوف يفقد 10% من تركيزه في خلال 10 يوم و

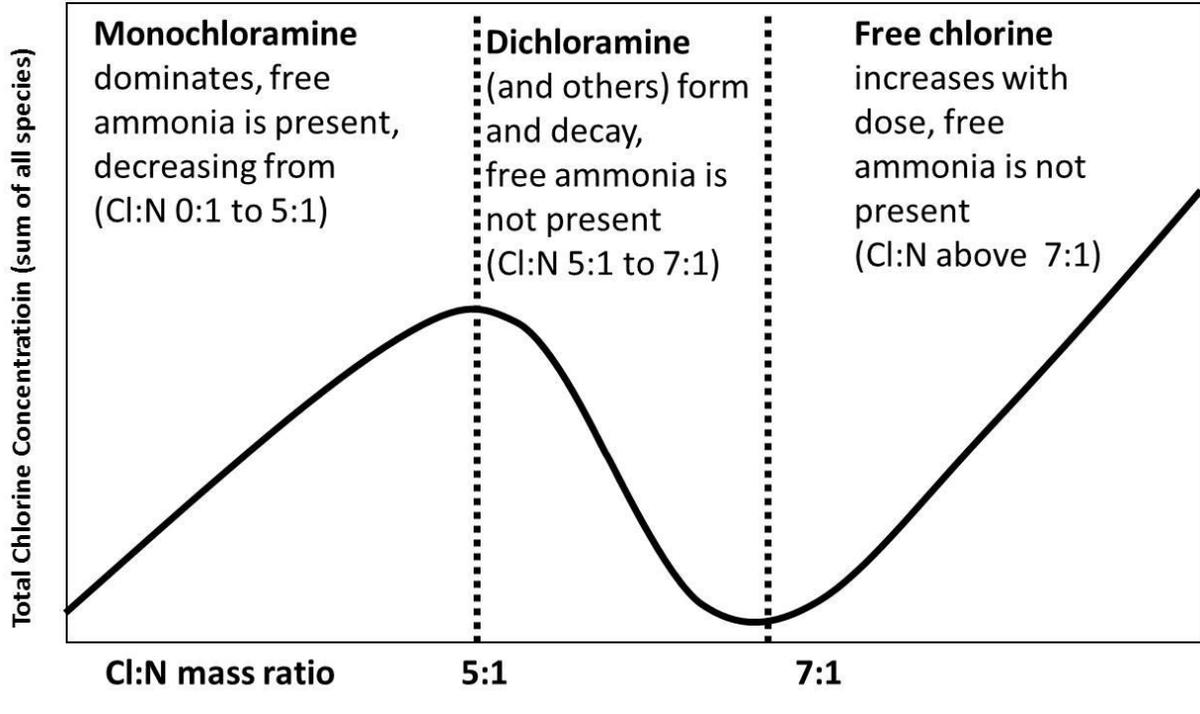
20% خلال 25 يوم و 30% خلال 43 يوم ولذلك يجب تخزينه في مخزن بارد وفي حاويات مقاومة للصدأ والتآكل .



عند إضافة الكلور لمياه الصرف يتفاعل مع المواد سهلة التأكسد (المواد المختزلة) مثل Fe^{2+} , Mn^{2+} و H_2S والمواد العضوية (النقطة A) ويسمى الكلور الفوري المطلوب **immediate chlorine demand** ؛ وبعد ذلك يستمر الكلور في التفاعل مع الأمونيا مكونا الكلورامين بين النقطة A والنقطة B ؛ ولنسبة مولارية بين الكلورين والأمونيا أقل من 1 سوف يتكون أمين أحادي الكلور وثنائي الكلور و **monochloramine and dichloramine chloramines** وتوزيع هاتين الصورتين يعتمد على معدلات تكوينهما والتي تعتمد على درجة الحرارة و pH ؛ وبن النقطة B ونقطة الإنكسار C يتحول بعض **chloramines** إلى NCI_3 ويتأكسد الباقي إلى N_2O و N_2 ويختزل الكلور لأيون الكلوريد ؛ وباستمرار إضافة الكلور يتأكسد معظم **chloramines** عند نقطة الإنكسار ؛ وإذا استمر إضافة الكلور بعد نقطة الإنكسار سيؤدي ذلك لزيادة طردية في الكلور الحر (الهيبوكلوريت الذي لم يتفاعل) .

نظريا تكون نسبة وزن الكلور إلى نيتروجين الأمونيا عند نقطة الإنكسار $Cl_2:NH_3-N$ هي 7.6:1

وتكون نسبة الوزن للوصول للنقطة B 5:1



وتكون التفاعلات المحتملة لإختفاء chloramines وظهور N_2 و N_2O هي كالتالي :



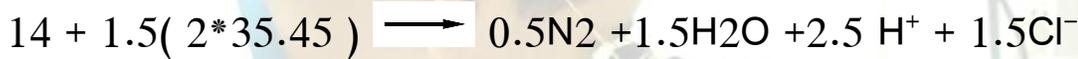
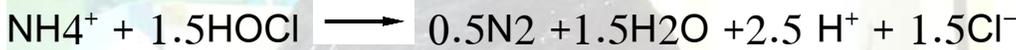
ويكون التفاعل الكلي :



وتظهر رائحة أثناء نقطة الإنكسار نتيجة تكوين NCl_3 ومركباته .

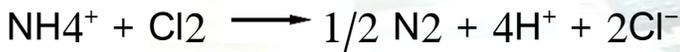
وجود مركبات النيتروجين العضوية تغير شكل منحنى نقطة الإنكسار ؛ كمية الكلور التي يجب إضافتها للوصول لمستوى الكلور المتبقى المرغوب تسمى الكلور المطلوب **chlorine demand** .

أثناء التطهير بالكلور أو استخدامة لمعالجة الأمونيا لمياه الصرف ينتج حامض الهيدروكلوريك مما يستهلك جزء من القلوية ويكون التغير في pH ضعيف ؛ لكل 1mg/l من NH₃-N يتم أكسدته بالكلور يستهلك 14.3 mg/l قلوية معبرا عنها CaCO₃ نتيجة تكوين الحامض .

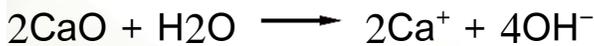


$$\text{Molecular ratio} = \frac{\text{Cl}_2}{\text{N}_2} = \frac{1.5(2*35.45)}{14} = 7.60$$

القلوية اللازمة لكل 1mg/l من NH₃-N يتم أكسدته بالكلور



وبفرض أنه سيتم استخدام الجير لمعادلة الحموضة الناتجة من تكون حامض الهيدروكلوريك



$$\text{Alkalinity required} = \frac{2(100 \frac{\text{mg}}{\text{millimole}} \text{CaCO}_3}{14 \frac{\text{mg}}{\text{millimole}} \text{N-NH}_4^+} = 14.30$$

النسبة المحسوبة في الخطوة الأولى تختلف في الواقع بإختلاف التفاعلات التي تحدث وقد وجد عمليا أن النسبة Cl₂:N₂ هي 8:1 – 10:1 والنسبة في الخطوة الثانية عمليا وجد أنها تستهلك 15 mg/l من القلوية بسبب التحلل المائي للكلور .

بالإضافة لتكون حامض الهيدروكلوريك تزيد المواد الصلبة العالقة أيضا لكل وحدة يتم استهلاكها من NH_4^+ وتختلف باختلاف صور الكلور المضافة للوصول لنقطة الإنكسار كما في الجدول التالي :

Chemical addition	Increase in TSS per unit of NH_4^+ consumed
Cl ₂ gas	6.2:1
NaOCl	7.1:1
Cl ₂ gas + lime CaO for neutralization	12.2:1
Cl ₂ gas + lime NaOH for neutralization	14.8:1

للتحكم الموسمي للنيتروجين في محطة تدفقها $200000 \text{ m}^3/\text{d}$ و نيتروجين الأمونيا $NH_3-N = 23 \text{ mg/l}$ وتركيز $BOD_5 = 15 \text{ mg/l}$ و $TSS = 15 \text{ mg/l}$ للمعالجة الثانوية والتركيز المستهدف للمياه المعالجة ثانويا $NH_3-N = 1 \text{ mg/l}$:

بفرض أن نسبة $Cl : NH_3-N = 9:1$

$$\text{Kg Cl/d} = 200000 \text{ m}^3/\text{d} * \frac{[(23 - 1) * 9] \text{ g/m}^3}{1000 \frac{\text{g}}{\text{kg}}} = 39599.9 \text{ kg/d}$$

وبفرض أن الزيادة في المواد الصلبة العالقة الكلية $TSS = 6.2 \text{ mg/l}$ لكل $\text{gm } NH_3-N$ يستهلك فإن :

$$\text{TSS increment} = 6.2 * (23 - 1) \text{ mg/l} = 136.4 \text{ mg/l}$$

عندما يتم السيطرة على كل الظروف الطبيعية أو الفيزيائية التي تتحكم في عملية الكلورة وتصبح ثابتة يكون كفاءة تطهير المياه من الميكروبات مقاسة بمقدرة البكتيريا المشتتة في المياه على البقاء تعتمد بصورة مبدئية على نسبة الكلور الحر المتبقي CR وزمن التلامس t .

عند زمن وعين أو نسبة كلور حر متبقي تكون كفاءة $HOCl$ أكبر من كل من أيون OCl^- و NH_2Cl ؛ وفي حالة زمن كافي من التلامس سوف يكون NH_2Cl له نفس فاعلية الكلور في التطهير .

مع وجود خلط كافي والوصول لنقطة الإنكسار يوفر HOCl طريقة فعالة للتطهير ويتحسن أداءه بوجود الكلور الحر ؛ وإذا لم يتم إضافة كمية كافية من الكلور للوصول لنقطة الإنكسار يجب زيادة زمن التلامس لتحقيق التطهير المرغوب فيه كما يجب الحفاظ على pH مناسبة لضمان الإتزان بين HOCl و OCl⁻ .

الجدول التالي يوضح مدى قيم t*CR للمستويات المختلفة لتثبيط البكتيريا المشتتة والفيروسات وأكياس وبيوض البروتوزوا في المياه المعالجة ثنائيا والمرشحة ثلاثيا عند PH=7 و درجة حرارة T= 20⁰C .

Disinfectant	Unit	Inactivation log			
		Log1	Log2	Log3	Log4
Bacteria					
Chlorine (free)	mg.min/L	0.1-0.2	0.4-0.8	1.5-3	10-12
Chloramine	mg.min/L	4-6	12-20	30-75	200-250
Chlorine dioxide	mg.min/L	2-4	8-10	20-30	50-70
Ozone	mg.min/L	*	3-4	*	*
Ultraviolet U.V	mJ/cm ²	*	30-60	60-80	80-100

Disinfectant	Unit	Inactivation log			
		Log1	Log2	Log3	Log4
Viruses					
Chlorine (free)	mg.min/L	*	2.5-3.5	4-5	6-7
Chloramine	mg.min/L	*	300-400	500-800	200-1200
Chlorine dioxide	mg.min/L	*	2-4	6-12	12-20
Ozone	mg.min/L	*	0.3-0.5	0.5-0.9	0.6-1.0
Ultraviolet U.V	mJ/cm ²	*	20-30	50-60	70-90

Disinfectant	Unit	Inactivation log			
		Log1	Log2	Log3	Log4
Protozoan cysts					
Chlorine (free)	mg.min/L	20-30	35-45	70-80	*

Chloramine	mg.min/L	400-650	700-1000	1100-2000	*
Chlorine dioxide	mg.min/L	7-9	14-16	20-25	*
Ozone	mg.min/L	0.2-0.4	0.5-0.9	0.7-1.4	*
Ultraviolet U.V	mJ/cm ²	5-10	10-15	15-25	*

ومن العوامل التي تؤثر على كفاءة التطهير بالكلور ومركباته لمياه الصرف الخلط الأولي للكلور والخواص الكيميائية للمياه تأثير الجسيمات أو المواد الصلبة العالقة وحمايتها للكائنات الحية وخواص الكائنات الحية . الخلط هام جدا وقد وجد انه كلما كان الخليط جيدا كلما زادت كفاءة التطهير بالكلور ؛ وفي حل وجود حواقي للكلور حيث يستخدم مياه الصرف نفسها في تحضير الكلور السائل يتفاعل مع الأمونيا وينتج مركبات الكلورامين والتي تحتاج زمن تلامس أطول من الكلور لتكون فعالة وكما ذكرنا فاعلية حامض الهيپوكلورس تناظر فاعلية المونوكلورامين بشرط توفر الزمن اللازم .

في حالة وجود مواد عضوية بالمياه يكون قياس الكلور الحر الكلي ليس وسيلة جيدة لقياس كفاءة الكلور كمطهر لقتل البكتيريا ويرتبط التأثير العكسي للمواد العضوية على فاعلية الكلور طبقا للتركيب العضوي للمركبات والمجموعات المتفاعلة منها ؛ حيث يكون الكلور المطلوب chlorine demand للمركبات المشبعة والكربوهيدرات قليل أو معدوم ولذا لا تتعارض مع عملية الكلورة بينما المركبات التي تحتوي على روابط غير مشبعة تستهلك كمية متوسطة من الكلور طبقا للمجموعات الفعالة فيها وأثناء قياس الكلور الحر تبدى المنتجات الجانبية من هذه المركبات نتيجة تفاعلها مع الكلور اثناء المعايرة نفس تفاعل الكلور المتبقى بينما يكون لها أثر تطهيري ضعيف أو لا يكون لها أثر تطهيري أصلا وأيضا المركبات التي تحتوي على عديد الحلقات وتحتوي على مجموعات هيدروكسيل والمركبات التي تحتوي على مجموعات كبريت تتفاعل بسهولة مع الكلور وتعطي مركبات نفس تفاعل الكلور المتبقى بينما يكون لها أثر تطهيري ضعيف أو لا يكون لها أثر تطهيري ؛ وللحصول على كفاءة تعقيم جيدة في وجود هذه المركبات يجب زيادة جرعة الكلور وزيادة زمن التلامس .

بالتالي فإن كفاءة التطهير في محطة ما بالكلور وبنفس خواص المياه المعالجة لا يعتمد على تركيز كل من BOD و COD ولكن يعتمد على طبيعة المركبات العضوية وتركيبها ومن ثم طبيعة عملية المعالجة المستخدمة في المحطة نفسها تؤثر أيضا على كفاءة الكلورة .

وجود الحديد والمنجنيز ومركبات الهيومك humics تقلل من كفاءة الكلورة تحت تأثير الحماية أو ما يعرف بـ shoulder effect .

في المحطات التي يتم إزالة المغذيات بها يتم إزالة النيتروجين من خلال عملية نترتة/ نترتة عكسية كاملة تحدث بعض مشاكل التشغيل المكررة إذا تمت إضافة الكلور للمياه الخام حيث يتواجد كلور حر بعد الإنتهاء من الكلور الفوري المطلوب للمواد العضوية والأمونيا والحديد وغيرها من المركبات في المياه الخام (وإن كان سيقلل جرعة الكلور المطلوبة في التطهير) ؛ إلا أن وجود الكلور الحر يؤدي لتكوين مركب N-nitrosodimethyle amine وهو منتج ثانوي لعملية التطهير غير مرغوب فيه (مسرطن قوي) .

في المحطات التي لا يتم فيها نترتة كاملة او يتم فيها نترتة جزئية لا يمكن التحكم في الكلورة حيث يستهلك جزء من الكلور في التفاعل مع النيتريت والأمونيا وتكون كمية الكلور المستهلكة كبيرة .

تؤثر الجسيمات العالقة في المياه على فاعلية التطهير بالكلور والأشعة فوق البنفسجية من حيث حجم الجسيمات وعدد الجسيمات المرتبط بالكائنات الحية أيضا للمياه الغير مرشحة ؛ في عمليات الحمأة النشطة وجد أن عدد الجسيمات المرتبط بالكائنات الحية دالة في زمن مكث المواد الصلبة او عمر الحمأة SRT ؛ فإذا كانت الجسيمات تحتوي على عدد معقول من الكائنات الحية فإن الكائنات الحية في الطبقات السطحية ستحمي الكائنات الحية التالية لها وذلك بتقليل إختراق الكلور لعمق الجسيمات من خلال الإنتشار ؛ ويمكن التغلب على ذلك بزيادة جرعة الكلور .

نوع وخواص وعمر الكائنات الحية يؤثر أيضا على كفاءة عملية التطهير ؛ فالبكتيريا صغيرة العمر (يوم أو أقل) تحتاج جرعة 2mg/l من الكلور لمدة دقيقة واحدة لنصل إلى تخفيض عدد البكتيريا لأقل ما يمكن بينما

البكتيريا التي يكون عمرها 10 يوم أو أكثر تحتاج يوم أو أكثر تحتاج 30 دقيقة للوصول لنفس النتيجة من تخفيض عدد البكتيريا وفي خلال نفس زمن التلامس ؛ ويبدو أن الغمد أو الغلاف التي تكونه الخلايا البكتيرية حول نفسها من عديد السكريات polysaccharides كلما تقدمت في العمر هو السبب في هذه المقاومة للتطهير أي يمكن القول أن متوسط زمن مكث الخلية MCRT (الزمن التي تقضيه الخلايا في النظام ككل) والذي يرتبط بزمن المكث أو عمر الحمأة (الزمن التي تقضيه الخلية في حوض التهوية تحت تأثير التهوية فقط) SRT يؤثر على اداء عملية الكلورة أو التطهير بالكلور .

عند التطهير بالكلور يجب الحصول على الكلور الحر بعد نقطة الإنكسار لكي يمكن التأثير على الفيروسات وقتل العديد من أنواعها ؛ كما يجب استخدام مواد نزع الكلور بعد التطهير لتجنب الآثار السامة للكلور اذا تم إعادة إستخدامها.

اتضح حديث بإستخدام تقنية عملية زرع الخلايا التكاملية للتفاعل المتسلسل integrated cell culture PCR أن الكلور المطلوب للقضاء على فيروسات شلل الأطفال poliovirus تحتاج خمس أضعاف الكلور الذي كان يظن أنه كافي لقتلها

3-18-2 نمذجة عملية التطهير بالكلور modeling the chlorine disinfection process

سنقوم بنمذجة عملية التطهير بالكلور للمياه المعالجة الثانوية قبل وبعد الترشيح بالمرشحات الرملية والمياه المعالجة المرشحة بالترشيح الميكروني والنتيجة من التناضح العكسي .

1-المياه المعالجة ثانويا بدون ترشيح والثانوية المرشحة secondary and filtered secondary effluents

في هذه الحالة يجب الأخذ بالإعتبار كل من تأثير الحماية أو التباطؤ وتأثير الجسيمات المتبقية العالقة في المياه المعالجة ؛ طبقا لمكونات المياه المعالجة سنلاحظ أنه نتيجة لتأثير الحماية او التباطؤ والتي يمكن

ملاحظتها بسهولة من خلال رسم بياني سنجد أن منطقة من المنحنى لا يوجد تغير في عدد البكتيريا التي تتأثر بإضافة المزيد من الكلور للمياه .

وبعد حدود معينة من إضافة الكلور سنلاحظ إنخفاض خطي لوغاريتمي في أعداد البكتيريا بزيادة جرعة الكلور ؛ وإذا كان حجم الجسيمات $>20\mu\text{m}$ فإننا سنلاحظ أن الخط المنحنى سيبدأ في الإنفراج وتتكون

منطقة الذيل نتيجة حماية الجسيمات للكائنات الحية وقد تم تحديد أقصى عد بكتيري لهذه الظاهرة $23\text{MPN}/100\text{ml}$ ؛ وقد لوحظ أن معدل تثبيط الكائنات الحية غير ثابت ولكن يتناقص من الوقت وهو السبب في ما يعرف تأثير الذيل **tailing effect** والمعادلة التالية تعبر عن ثابت معدل التناقص :

$$= \frac{KN}{1+a(Ct)} \frac{dN_t}{dt}$$

وبتكامل المعادلة :

$$= \frac{1}{1+a(Ct)^{-k/a}} \frac{N_t}{N_0}$$

حيث N عدد الكائنات الحية المتبقية بعد التطهير عند زمن t و N_0 عدد الكائنات الحية قبل التطهير و k ثابت معدل التثبيط للتفاعل من الدرجة الأولى عند زمن $t=0$ و a معامل معدل التثبيط و C تركيز المادة المطهرة الثابت طول الوقت t و mg/l الزمن الثابت بالدقيقة .

وقد وجد أنه يوجد إنخفاض في أعداد بكتيريا القولون الكلية عند تطهير المياه المعالجة ابتدائياً بعد المرحلة الخطية للرسم البياني إذا رسمت على ورق رسم بياني $\log-\log$ وستصبح المعادلة التي تعبر عن تأثير التباطؤ هذا هي كالتالي :

$$= \frac{1}{(1+0.23C_{R*}t)^3} \frac{N_t}{N_0}$$

وهذه المعادلة تفسر تأثير الذيل وتأثير التباطؤ بينما المعادلة التي تسبقها (معادلة كولنز) لا تفسر تأثير التباطؤ ولكنها تفسر تأثير الذيل فقط ؛ وقد تم تعديل معادلة كولنز لنمذجة تطهير المياه المعالجة ثانويا كالتالي عن طريق ساليك selleck ثم عن طريق وايت white :

$$= 1 \text{ if } C_R * t < b \frac{N_t}{N_0}$$

$$= \left[\frac{C_R * t}{b} \right]^{-n} \text{ if } C_R * t > b \frac{N_t}{N_0}$$

حيث C_R الكلور المتبقي في النهاية بعد زمن t و n ميل منحنى التثبيت و b قيمة التقاطع مع المحور x عندما $N/N_0=1$ أو عندما $\log N/N_0=0$

القيم النموذجية للمعامل n و b لبكتيريا القولون الكلية في المياه المعالجة ثانويا $n=2.8-4$ و $b=2.8-3$ ؛ إلا انه بسبب الاختلاف في التكوين الكيميائي وحجم وتوزيع الجسيمات فإنه يفضل تعيين هذه المعاملات لكل محطة أو لكل مياه يتم معالجتها على حدة .

وقد تم وضع معادلة لنمذجة عملية التطهير بالأشعة فوق البنفسجية للكائنات الحية الحرة والملتصقة بالجسيمات أيضا هي :

$$N(t) = N_D(0)e^{-k(C_R * t)} + \frac{N_P(0)}{k * C_R * t} (1 - e^{-k(C_R * t)})$$

حيث $N(t)$ هو العدد الكلي لبكتيريا القولون الكلية الحية عند زمن t و $N_D(0)$ العدد الكلي لبكتيريا القولون الكلية المشتتة قبل تطبيق المطهر عند زمن $t=0$ و $N_P(0)$ هو العدد الكلي للجسيمات التي تحتوي على الأقل خلية بكتيرية واحدة من بكتيريا القولون الكلية عند زمن $t=0$ و K معامل معدل التثبيت و C_R الكلور المتبقي عند زمن t و t الزمن .

يجب ملاحظة ان معامل معدل التثبيت يجب تعديله في المعادلة السابقة لتأثير التباطؤ كما أن التثبيت لا يكون ثابت ولكن يتناقص مع الزمن .

4-18-2 - (ب) جرعة الكلور المطلوبة للتطهير required chlorine dose for disinfection

يتم تقدير جرعة الكلور المطلوبة للتطهير بإعتبار 1-كمية الكلور المبدئية المطلوبة للمياه الخام 2-السماحية المطلوبة لموت الميكروبات أثناء زمن التلامس 3-تركيز الكلور المتبقي المطلوب لقتل الجراثيم ذات الصلة (البكتيريا والفيروسات وأكياس وبيوض البروتوزا)

تعتمد جرعة الكلور المبدئية على مكونات مياه الصرف الخام ويجب أن نتذكر أن جرعة الكلور المبدئية المضافة وبسبب المواد الغير عضوية سوف تتحول لأيون الكلوريد ولن يتم قياسها ككلور متبقي .

من ناحية أخرى الكلور الذي يتحد مع مركبات الهيوميك لن يكون له أثر تطهيري بينما يتم قياسه ككلور متبقي بسبب تأثير التباطؤ lag effect .

قيم الكلور النموذجية للكلور المتبقي والتي تسبب موت الكائنات الحية المستهدفة هي 2-4 mg/L في فترة زمن تلامس 1hr والجدول التالي يبين القيم النموذجية لجرعات الكلور لأنواع مياه الصرف بالنسبة للكوليفورم الكلية عند زمن تلامس 30 min ويجب الأخذ في الإعتبار أن هذه القيم تستخدم فقط كدليل للتقييم المبدئي لجرعة الكلور المطلوبة لذلك من الفضل عمل إختبارات عملية في الموقع لتحديد الجرعات المناسبة لكل محطة .

Wastewater type	Initial coliform count MPN/100L	Chlorine dose , mg/L			
		Effluent standard MPN			
		1000	200	23	≤2.2
Raw wastewater	10 ⁷ -10 ⁹	15-40	*	*	*
Primary effluent	10 ⁷ -10 ⁹	10-30	20-40	*	*
Trickling filter effluent	10 ⁵ -10 ⁶	3-10	5-20	10-40	*
A.S effluent	10 ⁵ -10 ⁶	2-10	5-15	10-30	*
Filtered A.S effluent	10 ⁴ -10 ⁶	4-8	5-15	6-20	8-30
Nitrified effluent	10 ⁴ -10 ⁶	4-12	6-16	8-18	8-20
Filtered nitrified effluent	10 ⁴ -10 ⁶	4-10	6-12	8-14	8-16
Microfiltration effluent	10 ¹ -10 ³	1-3	2-4	2-6	4-10
Reverse osmosis effluent	0.00	0.00	0.00	0.00	0-2
Septic tank effluent	10 ⁷ -10 ⁹	20-40	40-60		*
Intermittent sand filter effluent	10 ² -10 ⁴	1-5	2-8	5-10	8-18

مثال توضيحي: إذا كان عدد بكتيريا القولون الكلية قبل التطهير 10⁷/100 ml والمستهدف مياه معالجة بعد التطهير العدد الكلي لبكتيريا القولون بها هو MPN = 23/100 وجرعة الكلور المبدئية 4 mg/L والكلور المطلوب أثناء التلامس للتحلل البكتيري 2.5 mg/L وزمن التلامس 60min .

*الكلور المتبقي وباستخدام القيم النموذجية n=2.8 , b=4 :

$$= \left[\frac{C_R * t}{b} \right]^{-n} \frac{N_t}{N_0}$$

$$= \left[\frac{C_R * 60}{4} \right]^{-2.8} \frac{23}{10^7}$$

$$C_R = 15.6 \text{ mg/L}$$

بعد عملية التطهير بالكلور يفضل نزع الكلور المتبقي ويتم ذلك باستخدام العديد من المواد الكيميائية مثل ثاني أكسيد الكبريت والذي يلزم منه 1-1.2 mg/l لنزع mg/l من الكلور المتبقي والجدول التالي يلخص المركبات المستخدمة والجرعات المكافئة منها لنزع الكلور .

Dechlorinating compounds			Quantity mg/(mg/l) residual	
Name	Formula	Molecular weight	Stoichiometric amount	Rang in use
Sulfur dioxide	SO ₂	64.09	0.903	1-1.2
Sodium sulphite	Na ₂ SO ₃	126.04	1.775	1.8-2
Sodium bisulphite	NaHSO ₃	104.06	1.465	1.5-1.7
Sodium metabisulphite	Na ₂ S ₂ O ₅	190.10	1.338	1.4-1.6
Sodium thiosulphate	Na ₂ S ₂ O ₃	112.12	0.556	0.6-0.9

تتم عملية نزع الكلور أيضا بالكربون النشط

2-18-5 نظام التحكم في الكلورة باستخدام جهد الأكسدة و الإختزال ORP chlorination control system

من أهم الفوارق بين نظام ORP ونظام pH أن اللإلكترود الحساس في نظام ORP مصنوع من معدن خامل (صعب الأكسدة و الإختزال) مثل البلاتين أو الذهب والفرق الثاني تعويض درجة الحرارة حيث يكون ذلك نموذجيا في نظام pH وغير موجود في نظام ORP ويعبر عن الديناميكا الحرارية لكل من النظامين بمعادلة نرنست : Nernst equation :

$$E_{\text{cell}} = E^0_{\text{oxid/reduc}} + \frac{2.303 RT}{nF} * \text{Log} \frac{\text{Oxd}}{\text{Reduc}}$$

حيث E^0 هو الجهد في ظل الظروف القياسية و R الثابت العام للغازات و F ثابت فراداي وقد تم تعريف هذه الثوابت وقيمها سابقا بالتفصيل في غير موضع من الكتاب .

تشبه عملية التحكم بنظام ORP نظام التحكم pH في حالة ما إذا كان نصف التفاعل أو كليهما يستلزم أيون الهيدروجين سيكون قياس ORP معتمد على pH وسوف يتغير الجهد المقاس بواسطة ORP مع نسبة الأكسدة و الإختزال ؛ وبما أن نسبة الأكسدة والإختزال تتغير مع pH يكون من الضروري عمليا تحديد نقاط التحكم وتكون قياسات كل من ORP و pH متحكمة بالعملية .

19-2 لوغاريتم تثبيط نشاط الكائنات الحية أو إزالتها log inactivation of microorganisms

وضعت وكالة حماية البيئة الأمريكية بالإشتراك مع جمعية مياه الشرب الآمنة قواعد وجمعية أعمال المياه الأمريكية ومعهد بحوث البيئة الأمريكية من أجل التوفيق بين التحكم في الميكروبات المسببة للأمراض من ناحية والنواتج الثانوية للمطهرات ووسائل التطهير المستخدمة في تطهير مياه الشرب تسمى قواعد الميكروبات/ المنتجات الثانوية للتطهير microbial disinfection byproduct (M/DBP'S) rules والهدف منها الوصول إلى الحالة الأقرب للمثالية والأمنة من خطر الميكروبات وتجنب الإصابة بها مع تخفيض نواتج تفاعل المطهرات الثانوية التي تكون هي في حد ذاتها مسببة لبعض الأمراض الخطيرة ؛ حددت أيضا مستويات مختلفة لوقف نشاط أو تثبيط نشاط الميكروبات المختلفة وتم استنتاج ملفات خاصة بعمليات التطهير مبنية على مستوى التثبيط اللوغاريتمي للميكروبات عن طريق وسائل التطهير الكيميائية والفيزيائية المختلفة لمختلف الميكروبات التي تتواجد في المياه

لا تستطيع المطهرات الكيميائية (مثل الكلور والأوزون) ولا الفيزيائية مثل الأشعة فوق البنفسجية إزالة الكائنات الحية الدقيقة من المياه ولكن بدلا من ذلك توقف أو تثبط نشاطها فلا تستطيع أن تصيب المستهلك للمياه .

وطبقا لقواعد معالجة المياه السطحية SWTR يتم تحويل ظروف التطهير لمستوى نظري من تثبيط نشاط الكائنات الحية ويبنى هذا على جداول تم الحصول عليها من خلال العديد من التجارب لتأثير تركيز المادة المطهرة أو وسيلة التطهير مع زمن التلامس (كما في الكلور) أو زمن التعرض (كما في الشععة فوق

البنفسجية) C^*T حيث C هو تركيز المادة المطهرة المتبقية mg/L بعد زمن تلامس T دقيقة يكون فيها المياه في تلامس مع المادة المطهرة ؛ وهذه الجداول ترتبط بقيم C^*T إلى مستويات من تثبيط نشاط الكائنات الحية في ظل ظروف مختلفة من التشغيل وتختلف الجداول باختلاف المادة المطهرة او وسيلة التطهير .

يمكن زيادة قيم C^*T بزيادة الجرعة المطهرة أو زيادة زمن التلامس أو كلاهما معا ومن ثم كلما زادت قيمة C^*T كلما زادت نسبة تثبيط الكائنات الحية بالتبعية .

يعبر عن مستوى تثبيط نشاط الكائنات الحية بلوغاريم التثبيط حيث يتم قياس تثبيط نشاط الكائنات الحية على مقياس لوغاريتمي (أو حجم رتبة التخفيض في أعداد الكائن الحي) ولوغاريم التثبيط يقيس نسبة تثبيط الكائنات الحية التي تم تثبيط نشاطها أثناء عملية التطهير

$$\text{Log}_{\text{inactivation}} = \log \frac{N_0}{N_T}$$

حيث N_0 تركيز الخلايا الحية في المياه قبل التطهير و N_T تركيز الكائنات التي بقيت حية بعد التطهير و \log لوغاريتم للأساس 10

ويمكن الربط بين لوغاريتم التثبيط والنسبة المئوية للخلايا الحية التي يتم تثبيط نشاطها بالمعادلة التالية :

$$\text{Percent of inactivation} = \left(1 - \frac{N_0}{N_T} \right) * 100$$

$$\text{Percent of inactivation} = \left(1 - \frac{1}{10^{\log_{\text{inactivation}}}} \right) * 100$$

$$\text{Percent of inactivation} = \log * \left(\frac{100}{100 - \text{percent in activation}} \right)$$

المثال التالي يوضح العلاقة بين التركيزات الدخلة والخارجة ونسبة التثبيط ولوغاريتم التثبيط :

إذا كان تركيز الجارديا النشطة في المياه قبل التطهير $N_0 = 10000\text{cysts}/100\text{ mL}$ وكان التركيز بعد التطهير للكائنات الحية منها عند أول نقطة لإستخدام المياه المطهرة هو $N_T = 10\text{cysts}/100\text{ mL}$ فيكون لوغريتم التثبيط لعملية التطهير التي تمت هو :

$$\text{Log}_{\text{inactivation}} = \log \frac{N_0}{N_T}$$

$$\text{Log}_{\text{inactivation}} = \log \frac{10000\text{cysts}/100\text{ mL}}{10\text{cysts}/100\text{ mL}} = \log 1000 = 3$$

عملية التطهير هي عملية 3-log inactivation بالنسبة للجارديا ومنها يمكن حساب نسبة تثبيط الجارديا كالتالي :

$$\text{Percent of inactivation} = \left(1 - \frac{1}{10^{\log \text{inactivation}}} \right) * 100$$

$$\text{Percent of inactivation} = \left(1 - \frac{1}{10^3} \right) * 100$$

$$\text{Percent of inactivation} = (1 - 0.001)100 = 99.9\%$$

وبالتالي اللوغاريتم الثالث للتثبيط يساوي نسبة تثبيط قدرها 99.9% ومثل ذلك يمكن حساب أي مستوى من مستويات التطهير والجدول التالي يلخص نتائج حساب النسبة بين لوغاريتم تثبيط الخلايا الحية ونسبة التثبيط :

Log inactivation	% inactivation
0.00	0.00
0.50	68.38
1	90.00
2	99.00
3	99.90
4	99.99
5	99.999
6	99.9999
7	99.99999

تم تسجيل جداول كاملة جاهزة عند الرقم الهيدروجيني ودرجات الحرارة المختلفة .

طبقا لقواعد معالجة المياه السطحية تم الأخذ في الإعتبار أن المياه تمر عبر مواسير نقل ويكون لها زمن حجز يساوي زمن البقاء النظري أو متوسطه عند معدل تدفق معين بينما في الأحواض والخزانات يجب تعيين زمن التلامس لحساب $C*T$ بحيث يمثل الحد الأدنى لزمن الحجز الهيدروليكي في الحوض وقد تم إعتما نسبة 90% من التدفق الذي يمر عبر الحوض لذلك ويرمز له بالرمز T_{10} ويعمل ملف خاص بالتدفق من خلال حوض ما عبر الزمن يمكن تقييم زمن الحجز الهيدروليكي T_{10} بهدف حساب $C*T$.

يتأثر زمن الحجز بدرجة الحرارة ومستوى المياه في الخزان وتوجد طرق عديدة لتعيين T_{10} أهمها طرق دراسة التتبع *tracer study methods* ومن أهمها طريقتين هما طريقة التجريب بالتدرج او الجرعات المتدرجة *step-dose method* وطريقة الجرعات المتعادلة *slug-dose method* فيهما يتم تطبيق جرعات من المادة المطهرة ثم يتم تتبع التركيز في المياه المنتجة كدالة في الزمن ثم يتم تقييم ملف التركيزات للمادة المطهرة في المياه المنتجة لتعيين T_{10} .

لكل من الطريقتين مميزات وعيوبه ؛ في طريقة الجرعات المتدرجة يتم حقن المياه بجرعات ثابتة حتى الحصول على التركيز المرغوب فيه عند نقطة النهاية وحالة الإستقرار ومن عيوبها احتمالية تحقيق صحة البيانات بمقارنة التركيزات بملف زمني فانت لعينات تم جمعها عند بداية التجريب مع ملف تم الحصول عليه عندما تم وقف تغذية المياه بالمادة المتبعة *tracer* .

في طريقة الجرعات المتعادلة يتم اضافة كمية كبيرة من المادة المتبعة عند مدخل المياه للحوض ويتم أخذ العينات من مخرج الحوض عبر الوقت حيث يمر المادة المتبعة عبر الحوض ومن عيوب هذه الطريقة استخدام تركيزات عالية لكي نحدد بشكل كافي التركيز مقابل ملف الزمن ومن ثم تحتاج لخط شديد لتعويض تأثير كثافة التيار المحتمل والحصول على توزيع متماثل لجرعة المتبع *tracer* عبر الحوض .

20-2 شرائح التطهير disinfection segments

شرائح التطهير ضمن ما يسمى قطار المعالجة treatment train يجب أن تساوي أو تزيد عن عدد النقاط التي يتم تطبيق المادة المطهرة فيها ؛ ولنظام تطهير متعدد النقاط مثل نظام التطهير الثنائي من الأوزون متبوعا بالكلور أو حتى أحادي بالكلور الذي يطبق في نقاط عديدة في قطار المعالجة فإنه يجب تقسيم قطار المعالجة إلى شرائح تطهير متعددة وكل شريحة عند نقطة تطبيق المطهر وتنتهي عند نقطة جمع العينات لتحديد المتبقي من المطهر ؛ ونقطة جمع العينات تقع قبل النقطة التالية لتطبيق المادة المطهرة ؛ أو عند نهاية شريحة التطهير ؛ وعند أو قبل الدخول لنظام التوزيع وكما ذكرنا شرائح التطهير يمكن أن تشمل وحدات عمليات متعددة من قطار المعالجة .

إذا كان قطار المعالجة يضم نقطتين لتطبيق الكلور فإنه يتم تقسيمه إلى شريحتين تطهير ؛ ولأي نظام تطهير تنتهي شريحة التطهير الخيرة عند بداية دخول المياه المطهرة لنظام التوزيع وتبدأ شرائح التطهير عند أول نقطة تطبيق للمطهر وتنتهي عند نقطة جمع العينات لنقطة تطبيق المطهر الأولى .

قد يكون من الفضل في بعض الحالات تقسيم شريحة التطهير الواحدة لعدة شرائح تطهير طبقا لظروف الخلط المختلفة ووحدات المعالجة ؛ على سبيل المثال في المحطات التي يكون فيها ترشيح مباشر يطبق الكلور في مرحلة الخلط السريع ويقاس الكلور الحر المتبقي عند خول شبكة التوزيع وهنا تمثل المحطة كلها شريحة تطهير واحدة .

إذا تم ضرب قيمة T_{10}/T في تركيز الكلور الحر سيعطي قيمة متحفظة من CT (لأن الكلور الحر يتطاير في مراحل مختلفة من مراحل المعالجة) ؛ لذلك قياس الكلور الحر عند نهاية كل وحدة معالجة سيعطي قيمة مختلفة من CT وبالتالي تقييم أقل تحفظا لقيمة لوغاريتم التثبيط أو وقف نشاط الكائنات الحية .

يمكن تحديد القيم الصغرى للوغاريتم تثبيط نشاط الكائنات الحية مثل الجارديا (3-log removal) والفيروسات (4-log removal) يتم اتباع الإجراءات لحساب لوغاريتم التثبيط لشريحة أو من خلال تقييم لوغاريتم التثبيط لكامل المحطة .

في محطات مياه الشرب ونظرا لصعوبة قياس تثبيط الميكروبات الحقيقي وضعت وكالة حماية البيئة الأمريكية جداول CT والتي تستخدم لتقييم تثبيط نشاط الكائنات الحية عبر عملية التطهير وتم وضع هذه الجداول للمطهرات المعتمدة من الوكالة مثل الكلور والأوزون وثاني أكسيد الكلورين و الكلورامين وهي تعطي لوغاريتم التثبيط للجارديا والفيروسات عند ظروف التشغيل من درجة الحرارة والرقم الهيدروجيني وتركيز المطهر المتبقي وزمن التلامس وتم تقديم الجداول في صورة لوغاريتم التثبيط مقابل ظروف التشغيل حيث أن العلاقة بين لوغاريتم التثبيط و CT للجارديا خطية لمعظم المطهرات .



2-21 تعيين زمن التلامس لوغاريتم التثبيط 4 للفيروسات و لوغريتم 3 للجارديا

CT_{4-log ,viruses} & CT_{3-log ,Giardia}

يتم تعيين لوغاريتم التثبيط لكل شريحة ثم جمعها لتقييم لوغاريتم التثبيط لكل المحطة

$$\text{Giardia log inactivation} = 3 * \frac{\text{CT}_{\text{actual}}}{\text{CT}_{3\text{-log ,Giardia}}}$$

$$\text{Viruses log inactivation} = 4 * \frac{\text{CT}_{\text{actual}}}{\text{CT}_{4\text{-log ,viruses}}}$$

ولكي يتم تقييم التثبيط لشريحة يجب أن يعرف المشعل أولاً قيم كل من العوامل الثلاثة CT_{actual} و CT_{3-log} و CT_{4-log ,viruses} و CT_{3-log ,Giardia} المطلوبة والتي يتم تعيينها من العينات اليومية لتقدير تركيز المطهر المتبقي C و وحساب زمن التلامس T₁₀ ويتم ذلك لكل شريحة.

وحيث أن درجات الحرارة والرقم الهيدروجيني وتركيز المطهر المتبقي تختلف من محطة لأخرى ولم يتم حصر كل قيم CT في الجداول الخاصة بوكالة حماية البيئة فإنه يجب تعيينها وفق الظروف الحقيقية للمحطة وبالإستعانة بالجدول التي لم ترصد القيم المراد الحصول عليها بشكل تقريبي ويوجد برامج كمبيوتر تستطيع تقدير ذلك بدقة لإيجاد القيم الغير مدرجة ويمكن اتباع الإجراءات التالية لتقدير CT_{3-log ,Giardia} و CT_{4-log ,viruses} المطلوبة لكل شريحة تطهير .

1-21-2 إجراءات حساب CT_{3-log ,Giardia}

*من الجدول الخاص بتثبيط نشاط الجارديا بالكلور حدد CT عند درجة الحرارة الأقرب لدرجة حرارة التشغيل الحقيقية فمثلاً إذا كانت درجة الحرارة 19⁰C استخدم القيم المناظرة لدرجة الحرارة 15⁰C ؛ وإذا كان الرقم الهيدروجيني الحقيقي PH = 7.2 القيم المناظرة PH = 7.5 ؛ وإذا كان الكلور الحر الحقيقي مثلاً 1.1 mg/L القيم المناظرة 1.2 mg/L (لاحظ لو أن تركيز الكلور الحر أعلى من 3 mg/L استخدم دائماً القيم

المنظرة لتركيز 3 mg/L) وتطبيق هذه القيم على صف التركيز وصف الرقم الهيدروجيني وصف درجة الحرارة ستجد أن القيمة المطلوبة $CT_{3-\log, Giardia} = 92 \text{ mg}\cdot\text{min}/\text{L}$.

تتبع نفس الإجراءات في حالة الرغبة في معرفة $CT_{4-\log, viruses}$.

TABLE B-1
CT VALUES* FOR 3-LOG INACTIVATION
OF GIARDIA CYSTS BY FREE CHLORINE

Chlorine Concentration (mg/L)	Temperature <=0.5°C							Temperature =5°C							Temperature = 10°C						
	pH							pH							pH						
	<=6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	<=6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	<=6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0
<=0.4	137	163	195	237	277	329	390	97	117	139	166	198	236	279	73	88	104	125	149	177	209
0.6	141	168	200	239	286	342	407	100	120	143	171	204	244	291	75	90	107	128	153	183	218
0.8	145	172	205	246	295	354	422	103	122	146	175	210	252	301	78	92	110	131	158	189	226
1.0	148	176	210	253	304	365	437	105	125	149	179	216	260	312	79	94	112	134	162	195	234
1.2	152	180	215	259	313	376	451	107	127	152	183	221	267	320	80	95	114	137	166	200	240
1.4	155	184	221	266	321	387	464	109	130	155	187	227	274	329	82	98	116	140	170	206	247
1.6	157	189	226	273	329	397	477	111	132	158	192	232	281	337	83	99	119	144	174	211	253
1.8	162	193	231	279	338	407	489	114	135	162	196	238	287	345	86	101	122	147	179	215	259
2.0	165	197	236	286	346	417	500	116	138	165	200	243	294	353	87	104	124	150	182	221	265
2.2	169	201	242	297	353	426	511	118	140	169	204	248	300	361	89	105	127	153	186	225	271
2.4	172	205	247	298	361	435	522	120	143	172	209	253	306	368	90	107	129	157	190	230	276
2.6	175	209	252	304	368	444	533	122	146	175	213	258	312	375	92	110	131	160	194	234	281
2.8	178	213	257	310	375	452	543	124	148	178	217	263	318	382	93	111	134	163	197	239	287
3.0	181	217	261	316	382	460	552	126	151	182	221	268	324	389	95	113	137	166	201	243	292
Chlorine Concentration (mg/L)	Temperature = 15°C							Temperature = 20°C							Temperature = 25°C						
	pH							pH							pH						
	<=6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	<=6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	<=6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0
<=0.4	49	59	70	83	99	118	140	36	44	52	62	74	89	105	24	29	35	42	50	59	70
0.6	50	60	72	86	102	122	146	38	45	54	64	77	92	109	25	30	36	43	51	61	73
0.8	52	61	73	88	105	126	151	39	46	55	66	79	95	113	26	31	37	44	53	63	75
1.0	53	63	75	90	108	130	156	39	47	56	67	81	98	117	26	31	37	45	54	65	78
1.2	54	64	76	92	111	134	160	40	48	57	69	83	100	120	27	32	38	46	55	67	80
1.4	55	65	78	94	114	137	165	41	49	58	70	85	103	123	27	33	39	47	57	69	82
1.6	56	66	79	96	116	141	169	42	50	59	72	87	105	126	28	33	40	48	58	70	84
1.8	57	68	81	98	119	144	173	43	51	61	74	89	108	129	29	34	41	49	60	72	86
2.0	58	69	83	100	122	147	177	44	52	62	75	91	110	132	29	35	41	50	61	74	88
2.2	59	70	85	102	124	150	181	44	53	63	77	93	113	135	30	35	42	51	62	75	90
2.4	60	72	86	105	127	153	184	45	54	65	78	95	115	138	30	36	43	52	63	77	92
2.6	61	73	88	107	129	156	188	46	55	66	80	97	117	141	31	37	44	53	65	78	94
2.8	62	74	89	109	132	159	191	47	56	67	81	99	119	143	31	37	45	54	66	80	96
3.0	63	76	91	111	134	162	195	47	57	68	83	101	122	146	32	38	46	55	67	81	97

*Although units did not appear in the original tables, units are min-mg/L.

CT Log Inactivation Values (in mg.min/L) for *Giardia* using free chlorine at 15°C

Free Cl ₂ Residual	pH < 6.0						pH = 6.5						pH = 7.0						pH = 7.5					
	Log Inactivation						Log Inactivation						Log Inactivation						Log Inactivation					
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	0.5	1	1.5	2	2.5	3	0.5	1	1.5	2	2.5	3	0.5	1	1.5	2	2.5	3
0.4	8	16	24	32	40	48	10	20	30	40	50	60	12	23	35	46	58	69	14	28	42	56	70	84
0.6	9	17	26	34	43	51	10	20	30	40	50	60	12	24	36	48	60	72	15	29	44	58	73	87
0.8	9	17	26	34	43	51	10	20	30	40	50	60	12	24	36	48	60	72	15	29	44	58	73	87
1	9	18	27	36	45	54	11	21	32	42	53	63	13	25	38	50	63	75	15	30	45	60	75	90
1.2	9	18	27	36	45	54	11	21	32	42	53	63	13	25	38	50	63	75	16	31	47	62	78	93
1.4	9	18	27	36	45	54	11	22	33	44	55	66	13	26	39	52	65	78	16	31	47	62	78	93
1.6	10	19	29	38	48	57	11	22	33	44	55	66	13	26	39	52	65	78	16	32	48	64	80	96
1.8	10	19	29	38	48	57	12	23	35	46	58	69	14	27	41	54	68	81	17	33	50	66	83	99
2	10	19	29	38	48	57	12	23	35	46	58	69	14	28	42	56	70	84	17	33	50	66	83	99
2.2	10	20	30	40	50	60	12	23	35	46	58	69	14	28	42	56	70	84	17	34	51	68	85	102
2.4	10	20	30	40	50	60	12	24	36	48	60	72	15	29	44	58	73	87	18	35	53	70	88	105
2.6	10	20	30	40	50	60	12	24	36	48	60	72	15	29	44	58	73	87	18	36	54	72	90	108
2.8	11	21	32	42	53	63	13	25	38	50	63	75	15	30	45	60	75	90	18	36	54	72	90	108
3	11	21	32	42	53	63	13	25	38	50	63	75	15	30	45	60	75	90	19	37	56	74	93	111

Free Cl ₂ Residual	pH = 8.0						pH = 8.5						pH > 9.0					
	Log Inactivation						Log Inactivation						Log Inactivation					
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	0.5	1	1.5	2	2.5	3	0.5	1	1.5	2	2.5	3
0.4	17	33	50	66	83	99	20	39	59	78	98	117	24	47	71	94	118	141
0.6	17	34	51	68	85	102	21	41	62	82	103	123	25	49	74	98	123	147
0.8	18	35	53	70	88	105	21	42	63	84	105	126	25	50	75	100	125	150
1	18	36	54	72	90	108	22	43	65	86	108	129	26	52	78	104	130	156
1.2	19	37	56	74	93	111	23	45	68	90	113	135	27	53	80	106	133	159
1.4	19	38	57	76	95	114	23	46	69	92	115	138	28	55	83	110	138	165
1.6	20	39	59	78	98	117	24	47	71	94	118	141	28	56	84	112	140	168
1.8	20	40	60	80	100	120	24	48	72	96	120	144	30	59	89	118	148	177
2	21	41	62	82	103	123	25	49	74	98	123	147	30	59	89	118	148	177
2.2	21	41	62	82	103	123	25	50	75	100	125	150	30	60	90	120	150	180
2.4	21	42	63	84	105	126	26	51	77	102	128	153	31	61	92	122	153	183
2.6	22	43	65	86	108	129	26	52	78	104	130	156	32	63	95	126	158	189
2.8	22	44	66	88	110	132	27	53	80	106	133	159	32	64	96	128	160	192
3	23	45	68	90	113	135	27	54	81	108	135	162	33	65	98	130	163	195

Log Inactivation						
Temperature, °C	2.0-log		3.0-log		4.0-log	
	pH 6-8	pH 8-10	pH 6-8	pH 8-10	pH 6-8	pH 8-10
0.5	6	45	9	66	12	90
5	4	30	6	44	8	60
10	3	22	4	33	6	45
15	2	15	3	22	4	30
20	1	11	2	16	3	22
25	1	7	1	11	2	15

Note: *CT* values can be adjusted to other temperatures by doubling the *CT* for each 10°C drop in temperature.

Temperature ⁰ C	CT value mg.min/L	Temperature ⁰ C	CT value mg.min/L
0.5	12	13	4.8
1	11.6	14	4.4
2	10.7	15	4
3	9.8	16	3.8
4	8.9	17	3.6
5	8	18	3.4
6	7.6	19	3.2
7	7.2	20	3
8	6.8	21	2.8
9	6.4	22	2.6
10	6	23	2.4
11	5.6	24	2.2
12	5.2	25	2

يتم حساب لوغاريتم التثبيط وعمل ملفات تطهير عند استخدام كلور حر باستخدام طرق تقريبية لتقدير $CT_{3-\log}$ $Giardia$ و $CT_{4-\log}$,viruses عند $pH \leq 9$ ؛ وعند $pH > 9$ يتم استخدام نفس الجداول المستخدمة في حالة $pH \leq 9$ وتكون الإجراءات كالتالي :

يتم حساب لوغاريتم التثبيط التقديري بفرض أن العلاقة بين CT ولوغاريتم التثبيط خطية ويمكن تمثيلها رياضيا بالمعادلة التالية :

$$= \frac{CT_{actual} \quad estimated\ inactivation}{CT_{99.9} \text{ (or } 3-\log, Giardia) \quad 3-\log\ inactivation}$$

وبإعادة ترتيب المعادلة :

$$Estimated\ log\ inactivation = 3 * \frac{CT_{actual}}{CT_{required}}$$

وبفرض شرط أساسي لكل من $CT_{3-\log}$,Giardia و $CT_{4-\log}$,viruses تكون المعادلة العامة

$$Estimated\ log\ inactivation\ of\ giardia = 3 * \frac{CT_{actual}}{CT_{3-\log, Giardia}}$$

$$Estimated\ log\ inactivation\ of\ viruses = 4 * \frac{CT_{actual}}{CT_{4-\log, viruses}}$$

يمكن استخدام هذه المعادلات في محطات معالجة المياه السطحية سواء كانت تستخدم ترشيح أم لا تستخدم ترشيح وتبقى المعادلات صحيحة بالنسبة للأنظمة التي تستلزم تثبيط منخفض لنشاط الكائنات الحية (المحطات التي يوجد بها ترشيح) بسبب العلاقة الخطية بين CT ولوغاريتم التثبيط .

وبمجرد تعيين كل من $CT_{3-\log}$,Giardia و $CT_{4-\log}$,viruses لكل شريحة من شرائح التطهير يتم استخدام هذه البيانات في المعادلات السابقة مع CT_{actual} لحساب لوغاريتم التثبيط اليومي للجارديا والفيروسات لشريحة ما ومن ثم يمكن حساب لوغاريتم التثبيط اليومي للمحطة بجمع لوغاريتمات التثبيط :

$$Total\ plant\ log\ inactivation = \sum\ segment\ log\ inactivation$$

يمكن الحصول على ملف تطهير كامل برسم مستويات لوغاريتمات الثبیط اليومي للجارديا والفيروسات مقابل الزمن وسوف نوضح كيفية عمل ذلك بالتفصيل في كتاب منفصل خاص بعمليات تنقية المياه السطحية لأنه ليس من الضروري عمل مثل هذا الملف هنا في محطات معالجة مياه الصرف الصحي .

مضخات المياه المعالجة بعد التطهير بالأشعة فوق البنفسجية

يوجد ثمان مضخات لرفع المياه بعد تمام المعالجة والتطهير لإعادة الإستخدام في الزراعة

2-21-2 محطة مضخات المياه المعالجة



تم تزويد المحطة بعدد 8 مضخات لرفع المياه المعالجة بعد تطهيرها لإستخدام الزراعي والفائض إلى الوادي كما تم تزويد المحطة بمحطة لرفع المياه الناتجة من الغسيل العكسي عدد 2 مضخة غاطسة للمرشحات ومحطة الخدمة بعدد 3 مضخات ومضخات لتزويد وحدة تجريع الكلور وعددها 3 مضخات



2-22 مراحل معالجة الحمأة

Sludge treatment stages

الهدف من عمليات معالجة الحمأة هو تقليل حجم الحمأة الناتجة أولاً حتى يسهل تداولها واستخدامها أو دفنها وثانياً لتقليل أو القضاء على الميكروبات التي تحتوي عليها طبقاً للطرق المستخدمة في عملية المعالجة ؛ تتم عملية معالجة الحمأة في محطة معالجة مياه الصرف الصحي بالمدينة المرحلة الثانية على ثلاث مراحل ؛ المرحلة الأولى تركيز أو تغليظ الحمأة في خزان تجميع الحمأة thickener ثم نرح المياه من الحمأة المركز أو المغلظة في وحدة الديكانتر بالطرد المركزي ثم تجفيف الحمأة منزوحة المياه في وحدة المجفف الحراري .

2-22-1 محطة ضخ الحمأة الزائدة /الراجعة WSA/RAS pumping station

تنتقل الحمأة بعد ترسيبها بأحواض الترسيب إلى محطة مضخات الحمأة الزائدة والراجعة حيث تقوم مضخات الحمأة الراجعة بتدوير كمية الحمأة اللازمة للحفاظ على كفاءة وجودة المعالجة البيولوجية عن طريق توفير القدر الكافي من الكائنات الحية اللازمة للمعالجة وطبقاً للمواصفات التصميمية للمحطة يتم تدوير كمية من الحمأة تساوي 75% من معدل التدفق اليومي للمحطة ويمكن زيادة أو نقص هذا المعدل حسب ظروف التشغيل ونوعية المياه الخام (تتراوح نسبة الحمأة الراجعة في أنظمة التهوية المطولة من 50% - 150% وقد تصل الى 200%) ؛ بينما يتم التخلص من الحمأة الزائدة عن حاجة المعالجة إلى تركيز الحمأة بالجاذبية gravity thickener وهو يعمل في ذات الوقت كخزان تجميع للحمأة الزائدة ؛ ولحساب التصرف المطلوب لمضخات الحمأة الزائدة :

إنتاجية الحمأة كما سبق هي **76145 kg DS/d** كمادة صلبة ؛ وعند تركيز حمأة راجعة 8.40 kg/m^3

$$Q_{WAS} = \frac{76145 \frac{\text{kgDS}}{\text{d}}}{8.40 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1.020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 8887 \text{ m}^3/\text{d} = 370 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$WAS \text{ pump capacity} = \frac{370 \text{ m}^3/\text{hr}}{4} = 92.5 \text{ m}^3/\text{hr}$$

فعلياً تم تزويد المحطة بعدد 6 مضخات تصرف المضخة الواحدة $150 \text{ m}^3/\text{hr}$ مقسمة لمجموعتين كل مجموعة 2+1

وبالتالي يكون عامل الأمان :

$$SF = \frac{150 \text{ m}^3/\text{hr}}{92.5 \text{ m}^3/\text{hr}} = 1.62$$

*معدل تدفق الحمأة الراجعة :

$$Q_{RAS} = 200000 \text{ m}^3/\text{d} * 0.75 = 150000 \text{ m}^3/\text{d} = 6250 \text{ m}^3/\text{hr}$$

تصرف المضخات $6250 \text{ m}^3/\text{hr}$ وبفرض توفير عدد 6 مضخات :

$$RAS \text{ pump capacity} = \frac{6250 \text{ m}^3/\text{hr}}{6} = 1041.7 \text{ m}^3/\text{hr}$$

*تم تزويد المحطة بعدد 8 مضخات للحمأة الراجعة RAS تصرف المضخة الواحدة $1600 \text{ m}^3/\text{hr}$ مقسمة لمجموعتين كل بحيث تعمل ثلاثة من كل مجموعة والرابعة إحتياطي (3+1) بهدف الحفاظ على تركيز مناسب من الكتلة الحيوية اللازمة للمعالجة

$$SF = \frac{1600 \text{ m}^3/\text{hr}}{1041.7 \text{ m}^3/\text{hr}} = 1.54$$

2-23 خزان تجميع وتركيز الحمأة بالجاذبية excess sludge and gravity thickener

للحصول على حمأة ذات تركيز عالي وثابتة التركيز يوجد خزان لتجميع الحمأة ويقوم هذا الخزان مقام مغلظ الحمأة thickener وقد تم تزويد الخزان بناشرات هواء لضخ هواء وخلطات لتقليب الحمأة لمنع تحرر الفوسفور نظرا نتيجة عدد ساعات التخزين الطويلة وايضا لمزيد من تثبيت الحمأة وتم تحديد حجم الخزان اللازم عند متوسط تدفق يومي وإنتاجية حمأة قدرها 76145 kg DS/d بحيث يتسع لهذه الإنتاجية اليومية والتي تعادل $8845 \text{ m}^3/\text{d} = 369 \text{ m}^3/\text{hr}$ كالتالي :

حمل الحمأة المسموح به :

$$\text{Allowed sludge load} = 60 \text{ kg/m}^2/\text{d}$$

مساحة السطح المطلوبة لكمية الحمأة المنتجة يوميا

$$\text{Required surface area} = \frac{76145 \text{ kg DS/d}}{60 \text{ kg/m}^2/\text{d}} = 1269 \text{ m}^2$$

وحيث أنه تم إنشاء عدد 2 خزان فإن مساحة السطح للواحد ستكون 631 m^2 وقطر الخزان الواحد 30 m وارتفاعه 6.15 m ؛ وطبقا للمواصفة الألمانية فإن التثبيت الهوائي للحمأة يتطلب طاقة 50 W/m^3 وحيث أن الحمأة يتم تثبيتها في أحواض التهوية لأن نظام الكاروسيل للتهوية المطولة يسمح بذلك فإن الطاقة 20 W/m^3 سوف تكون كافية للمزيد من تثبيت الحمأة وعدم ظهور روائح وعدم تحرر الفوسفور بخزان الحمأة .
وحيث أن الإرتفاع الكلي للخزان الذي يشمل إرتفاع الحمأة + إرتفاع مياه التصافي هو 6.15 m فإن حجم خزان هو :

$$\text{Holding sludge tank \& thickener volume} = 631 \text{ m}^2 * 6.15 \text{ m} =$$

الطاقة اللازمة لهذا الحجم للتهوية إذا فرضنا أن 20 W/m^3 سوف تكون كافية للمزيد من تثبيت الحمأة :

$$\text{Required power for aeration} = 3881 \text{ m}^3 * 20 \text{ W/m}^3 = 77620 \text{ W} = 77.620 \text{ kW}$$

تم تنفيذ عدد 2 خزان سعة الواحد 4350 m^3 بسعة إجمالية 8700 m^3 بالإضافة لغرفة التغذية للديكانتر
 *يتم ضخ هواء مع التقليب لتثبيط النشاط البكتيري ومنع التخمير اللاهوائي وتحرر الأحماض الدهنية الطيارة
 وتحرر الفوسفات من الخلايا البكتيرية ويكون الهواء اللازم هو $5.5 \text{ Sm}^3/\text{m}^2.\text{hr}$ ويكون احتياج الهواء
 للخزان الواحد

$$\text{Required air} = 5.5 \text{ Sm}^3/\text{m}^2.\text{hr} * 631 \text{ m}^2 = \mathbf{3470.5 \text{ Sm}^3/\text{m}^2.\text{hr.tank}}$$

$$\text{Required air} = 2 * 3470.5 \text{ Sm}^3/\text{m}^2.\text{hr.tank} = \mathbf{6941 \text{ Sm}^3/\text{m}^2.\text{hr.2tank}}$$

تم تزويد الأحواض بعدد (2+1) 3 بنوافخ هواء سعة $4350 \text{ m}^3/\text{hr}$

$$\text{SF} = \frac{8700 \text{ m}^3/\text{hr}}{6941 \text{ m}^3/\text{hr}} = \mathbf{1.25}$$

*الحمأة اللازم ضخها للديكانتر وطبقا للتصميم بتركيز 1% بعد تركيزها في حوض تجميع الحمأة هي:

$$\text{Thickened sludge} = \frac{76145 \frac{\text{kgDS}}{\text{d}}}{0.01 \times 1020 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = \mathbf{7465 \text{ m}^3/\text{d} = 311 \text{ m}^3/\text{hr} = 4977 \text{ m}^3/16\text{hr}}$$

*تم تزويد الخزانات بعدد 4 خلطات بواقع 2 خلط لكل خزان أحدهما إحتياطي كما تم تزويد الخزانات
 بجهاز قياس الأكسجين الذائب وربطه بالخلطات والنوافخ بحيث لا يقل تركيز الأكسجين عن 1.5 mg/L ولا
 يزيد عن 3 mg/L لمنع النشاط التخمرى اللاهوائي للبكتيريا فإذا وصل التركيز 3 mg/L يتوقف النافخ و يعطي
 اشارة لتشغيل الخلطات للتقليب واذا قل التركيز إلى 1.5 mg/L توقف الخلط واعطى اشارة لتشغيل النافخ
 *تخرج الحمأة من خزانات تجميع الحمأة (خزانات تركيز الحمأة thickeners) بتركيز يصل إلى 2%-3%
 كمادة صلبة جافة بعد زمن مكث قدره 24 ساعة .

نزع المياه من الحمأة dewatering		الهضم digestion		تغليظ الحمأة thickening		نوع الحمأة sludge
% العزل % capture	العملية process	% العزل % capture	العملية process	% العزل % capture	العملية process	type
90-98	أحواض تجفيف	95	هضم ثانوي	85-92	بالجاذبية	حمأة ابتدائية
90-98	مرشحات ضاغطة					
90-95	ديكانتر-تفريغ هواء					
90-95	أحزمة ضاغطة					
90-98	أحواض تجفيف	95	هضم ثانوي	75-85	بالجاذبية	حمأة ثانوية
90-98	مرشحات ضاغطة			80-95	بالتعويم	
90-95	ديكانتر-تفريغ هواء			80-95	ديكانتر-تفريغ هواء	
90-95	أحزمة ضاغطة					
90-98	أحواض تجفيف		هضم ثانوي	80-90	بالجاذبية	حمأة مختلطة
90-98	مرشحات ضاغطة			85-95	ديكانتر-تفريغ هواء	
90-95	ديكانتر-تفريغ هواء					
90-95	أحزمة ضاغطة					
90-98	أحواض تجفيف					

*وتكون نسبة استخلاص الحمأة 75%-85% (ويقصد بها نسبة المواد الصلبة التي يتم استخلاصها من المائع حيث يتبقى جزء من الحمأة كمواد صلبة عالقة في مياه التصافي supernatant بعد فترة مكث في حوض تركيز الحمأة لمدة 24 ساعة) وكثافة الحمأة $1030-1050\text{kgDS/m}^3$ كحمأة رطبة ومن ثم ستكون كتلة الحمأة بعد تركيزها والإستخلاص :

$$\text{Thickened sludge after Solids capture} = 0.85 * 76145\text{kg DS/d} = \mathbf{64723\text{ kgDS/d}}$$

هذه الكمية من الحمأة (64723 kgDS/d) لا يزال معظمها مياه ويكون تدفق الحمأة بالمتر المكعب :

$$\text{Thickened sludge flow} = \frac{64723\frac{\text{kgDS}}{\text{d}}}{0.01*1050\text{kg/m}^3} = \mathbf{6164\text{ m}^3/\text{d}}$$

وبالتالي يجب أن تكون تصرفات مضخات رفع الحمأة المركز من الأحواض لغرفة تغذية الديكانتر على الأقل

$$\mathbf{6164\text{ m}^3/\text{d} = 257\text{ m}^3/\text{hr}}$$

أن الضخ سيتوافق مع تشغيل الديكانتر والذي يعمل 16hr فإن تصرف

أو بتركيز حمأة 2%-3% فيكون تدفق الحمأة المركزة :

$$\text{Thickened sludge flow} = \frac{64723 \frac{\text{kgDS}}{\text{d}}}{0.03 \cdot 1050 \text{kg/m}^3} = 2055 \text{ m}^3/\text{d}$$

المضخات يجب ألا يقل عن **386 m³/hr**

الحمل الوارد من الحمأة المركزة (المغلظة) لكل ديكانتر :

$$\text{Thickened sludge per unit} = \frac{386 \text{ m}^3/\text{hr}}{2} = 129 \text{ m}^3/\text{hr}$$

*تم تزويد أحواض تركيز الحمأة بمضخات (1+3) 4 لسحب الحمأة منها إلى حوض تغذية الديكانترات

بتصرف قدره **160 m³/hr**

زمن المكث في أحواض تركيز الحمأة الجاذبية عادة 24 ساعة ونسبة المواد الصلبة بالحمأة نتيجة التركيز

تتراوح من 2-3 % (**التصميمي يفترض تركيز 1%**)

للحصول على حمأة ذات تركيز عالي وثابتة التركيز يوجد خزان لتجميع الحمأة ويقوم هذا الخزان مقام حوض

تركيز الحمأة بالجاذبية thickener وقد تم تزويد الخزان بناشرات هواء لضخ هواء وخلاطات لتقليب الحمأة

لمنع تحرر الفوسفور نظرا نتيجة عدد ساعات التخزين الطويلة وايضا لمزيد من تثبيت الحمأة

2-24 وحدة نزح المياه من الحمأة بالطرد المركزي (الديكانتر)

Centrifugal sludge dewatering unit (decanter)

2-24-1 نزح المياه من الحمأة (الديكانتر) (sludge dewatering (decanter)

تم تزويد المحطة بعدد 6 ديكانتر

*سوف يتم تشغيل وحدة نزح المياه من الحمأة بنظام الطرد المركزي ولمدة 6 أيام في الأسبوع ؛ وحيث أن كمية الحمأة بعد التركيز هي **64723 kgDS/d** فإن حمل الحمأة الوارد إلى وحدة نزح المياه من الحمأة هو :

$$\text{Sludge to be dewatered /d} = \frac{64723 \frac{\text{kgDS}}{\text{d}} * 7\text{d}}{6\text{d}} = \mathbf{75510 \text{ kg DS/d}}$$

إذا تم تشغيل الديكانتر لمدة 16 ساعة يوميا يكون الحمل الوارد له في اليوم :

$$\text{Sludge to be dewatered /d} = \frac{75510 \frac{\text{kgDS}}{\text{d}} * 16\text{hr}}{24\text{hr}} = \mathbf{50340 \text{ kg DS/16hr/d}}$$

حمل الحمأة كمادة صلبة المتدفقة للديكانترات الستة **50340 kgDS/16hr/d** في خلال 16 ساعة عمل ؛ بمعدل **8390 kgDS/hr** لكل ديكانتر بتركيز (**التصميمي 1%**) وذلك بفرض أنها جميعها في الخدمة بدون إحتياطي بمعدل تدفق هو :

لحساب كمية الحمأة منزوحة المياه ؛ يحدث إستخلاص للمواد وتكون نسبته 90%-95% ونسبة المواد الصلبة الجافة 20%-25% وكثافة الحمأة $1050-1080 \text{ kgDS /m}^3$ ومن ثم ستكون كتلة الحمأة بعد الإستخلاص :

$$\text{Dewatered sludge kg after capture} = 0.95 * \mathbf{50340 \text{ kgDS/d}} = \mathbf{47823 \text{ kgDS/d}}$$

وتدفق الحمأة منزوحة المياه بالمتر المكعب :

$$\text{Dewatered sludge flow} = \frac{147823 \text{ kgDS/d}}{18\% * 1080 \text{ kgDS/m}^3} = 246 \text{ m}^3/16\text{hr}$$

وهذه الكمية من الحمأة بفرض تشغيل الديكانترات لمدة أيام 6 أسبوعيا بواقع 16 ساعة

* تصرف وعدد مضخات الإزاحة الموجبة لتغذية الديكانترات :

تدفق الحمأة المركزة (المغلظة) : عند تركيز 1% هو **6164 kgDS/hr** وعند تركيز 3% هو **2055 kgDS/hr** وبالتالي تحتاج مضخات بنفس التصرف وقد تم إختيار ست مضخات واحدة لكل ديكانتر ومن ثم سيكون تصرف المضخة الواحدة المطلوب

$$\text{Required pump capacity} = \frac{6164 \text{ kgDS/hr}}{0.01 * 1050} = 587 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Required pump capacity} = \frac{2055 \text{ kgDS/hr}}{0.03 * 1050} = 65 \text{ m}^3/\text{hr}$$

موزعة لعدد 6 ديكانتر بواقع **98 m³/hr** أو **65 m³/hr**

تم تركيب مضخات تصرف المضخة 75 m³/hr ؛ ومعامل الأمان :

$$\text{SF} = \frac{75 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}}{65 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}} = 1.15$$

2-24-2 وحدات تجهيز وتجريع البوليمر polymer preparation and dosing units

لتحسين عملية نرح المياه من الحمأة تم تزويد الديكانترات بنظام حقن للبوليمر مكون من وحدتين للتجهيز والحقن أحدهما أساسي والآخر احتياطي .

متوسط كمية البوليمر اللازمة لفصل الحمأة بصورة جيدة تختلف باختلاف جودة البوليمر وتركيبه الكيميائي وشحناته وكثافته والتكوين الفراغي لشكل الجزيئ وغالبا ما تتراوح بين 2-10 kg/1tonne DS ؛ وبفرض جودة البوليمر المستخدم وغالبا ما يتم تصميم وحدات تجهيز البوليمر على أساس متوسط 6kg لكل طن من إنتاجية الحمأة كمادة صلبة .

الحمأة المركزة كمادة صلبة **64723 kgDS/d** وبالتالي كمية البوليمر بمتوسط 6kg/DS tonne لكل طن من المواد الصلبة :

$$\text{Required polymer kg /d} = \frac{64723 \frac{\text{kgDS}}{\text{d}} * 6 \frac{\text{kg}}{\text{DStonne}}}{1000} = \mathbf{388 \text{ kg/d}}$$

وفي خلال 16 ساعة عمل يكون البوليمر المستهلك في الساعة :

$$\text{Required polymer kg /hr} = \frac{388 \text{ kg}}{16 \text{ hr}} = \mathbf{24 \text{ kg/hr}}$$

يستخدم البوليمر بتركيز **0.1%** بالتالي فإن الكمية **24 kg/hr** تعطي محلولاً باللتر بهذا التركيز قدره

$$\text{Polymer solution volume at 0.1\%} = \frac{24 \text{ kg/hr}}{0.001 \text{ kg/L}} = \mathbf{24000 \text{ L/hr}}$$

تصرف المضخات يجب أن يكون على الأقل **24m³/hr** موزعة على ثلاث مضخات فيكون التصرف المطلوب للمضخة الواحدة **8m³/hr** .

تم تجهيز ثلاث وحدات لتجهيز البوليمر المحلول لكل وحدة مضختان واحدة أساسية وأخرى احتياطي (1+1) تصرف المضخة **3m³/hr - 12m³/hr** بعامل أمان

$$\text{SF} = \frac{12 \text{ m}^3/\text{hr}}{8 \text{ m}^3/\text{hr}} = \mathbf{1.5}$$

3-24-2 Suspended Solids في مياه التصافي والمنزوعة بالطرد المركزي

Concentration In The Supernatant And Centrate

*معدل التدفق للحمأة الزائدة والواردة لأحواض تخزين وتركيز الحمأة $9065 \text{ m}^3/\text{d}$ ؛ كما أن كمية الحمأة كمادة صلبة لهذا التدفق هو $76145 \text{ kgDS}/\text{d}$ ؛ وكمية الحمأة كمادة صلبة بعد التركيز بالأحواض

$64723 \text{ kgDS}/\text{d}$ ومعدل تدفق الحمأة بعد تركيزها $6164 \text{ m}^3/\text{d}$ (أو $2055 \text{ m}^3/\text{d}$ عند تركيز 3%)

وبالتالي نجد أن :

$$\text{supernatant kgDS}/\text{d} = \text{excess sludge DS}/\text{d} - \text{Thickened sludge DS}/\text{d}$$

$$\text{supernatant kgDS}/\text{d} = 76145 \text{ kgDS}/\text{d} - 64723 \text{ kgDS}/\text{d} = 11422 \text{ kgDS}/\text{d}$$

$$\text{supernatant flow m}^3/\text{d} = \text{excess sludge flow m}^3/\text{d} - \text{Thickened sludge flow m}^3/\text{d}$$

$$\text{supernatant flow m}^3/\text{d} = 9065 \text{ m}^3/\text{d} - 6064 \text{ m}^3/\text{d} = 3011 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{supernatant flow m}^3/\text{d} = 9065 \text{ m}^3/\text{d} - 2055 \text{ m}^3/\text{d} = 7054 \text{ m}^3/\text{d}$$

تركيز المواد الصلبة العالقة SS في مياه التصافي :

$$\text{Suspended solids concentration in supernatant} = \frac{\text{supernatant } \frac{\text{kgDS}}{\text{d}}}{\text{supernatant flow } \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}$$

$$\text{Suspended solids concentration in supernatant} = \frac{11354 \frac{\text{kgDS}}{\text{d}}}{3011 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} = 3.8 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{Suspended solids concentration in supernatant} = \frac{11354 \frac{\text{kgDS}}{\text{d}}}{7054 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} = 1.6 \text{ kg}/\text{m}^3$$

*كمية المواد الصلبة الخارجة مع المياه المعزولة بالطرد المركزي Centrate هي :

$$\text{Centrate kgDS/d} = \text{Thickened sludge kgDS/d} - \text{Dewatered sludge kgDS/d}$$

$$\text{Centrate kgDS/d} = 64723 \text{ kgDS/d} - 47823 \text{ kgDS/d} = \mathbf{16900 \text{ kgDS/d}}$$

*تدفق المياه نتيجة عملية نرح الحمأة :

$$\text{centrate flow m}^3/\text{d} = \text{Thickened sludge flow m}^3/\text{d} - \text{dewatered sludge flow m}^3/\text{d}$$

$$\text{centrate flow m}^3/\text{d} = 6164 \text{ m}^3/\text{d} - 246 \text{ m}^3/\text{d} = \mathbf{5918 \text{ m}^3/\text{d}}$$

$$\text{centrate flow m}^3/\text{d} = 2055 \text{ m}^3/\text{d} - 246 \text{ m}^3/\text{d} = \mathbf{2009 \text{ m}^3/\text{d}}$$

تم تزويد الوحدة بمضخات (1+2) 3 لإعادة مياه التصافي الناتجة من الطرد المركزي بتصرف $260 \text{ m}^3/\text{hr}$

$$\text{Suspended solids concentration in centrate} = \frac{16900 \frac{\text{kgDS}}{\text{d}}}{5918 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} = \mathbf{2.86 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Suspended solids concentration in centrate} = \frac{16900 \frac{\text{kgDS}}{\text{d}}}{2009 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} = \mathbf{8.4 \text{ kg/m}^3}$$

2-24-4 إجراءات التشغيل operation procedures

1- بعد استقرار الحمأة في حوض تركيز الحمأة الفترة اللازمة لتغليظ الحمأة تترسب الحمأة أسفل الخزان بينما تتدفق المياه الزائدة عن مستوى ماسورة الفائض الى شبكة التصريف بالمحطة ؛ يكون نسبة المواد الصلبة في الحمأة المغلظة 2-3% . (التصميمي 1%)

يقوم مشغل الوحدة يوميا على فترات خلال اليوم بتشغيل نافخ الهواء والخلاطات لمنع النشاط البكتيري في البيئة اللاهوائية التي يمكن ان تتوفر بالخزان وتؤدي الى إخراج الفوسفور من البكتريا المجمعة للفوسفور (ان حدث ذلك سينتقل الفوسفور مرة أخرى الى مدخل المحطة ويختلط بالمياه الخام ثم الى احواض التهوية وكأن معالجة الفوسفور لم تحدث) كما يزيد من تثبيت الحمأة ومنع انبعاث روائح كريهه .

2- قبيل بدء تشغيل الوحدة (قبل التشغيل بساعة) يتم ضخ الهواء مع التقليب ثم ترك الحمأة تترسب مرة أخرى

3- في هذه الأثناء يقوم المشغل بتجهز محلول البوليمر حيث يتم شفط البوليمر بالفاكيوم لخزان تجهيز المحلول اللازم لتحسين نزع المياه من الحمأة والتي يقدرها الكيميائي المختص طبقاً لنسبة المواد الصلبة بالحمأة لتحديد الجرعة المثالية للعملية عن طريق إجراء إختبار الكؤوس jar test ؛ مع تشغيل خلاط التقليب لإذابة البوليمر تماما

يتم إذابة البوليمر بخلاطة جيدة بخلاط بطيء السرعة (440-500 rpm) لمدة نصف ساعة على الأقل البوليمر الكاتيوني هو مركب موجب الشحنة كبير الوزن الجزيئي بينما ندف الحمأة تحمل شحنات سالبة فينتج من التقاء البوليمر والندف تجاذب كهربائي ثابت electrostatic attraction مما يجعل جزئ البوليمر والندف جزئ كبير ثقيل الوزن يسهل ترسيبه كما أن البوليمر يجذب الندف الصغيرة المشتتة في بيئة الحمأة مما يجعل المياه رائقة فتنفصل الحمأة عن المياه ؛ لكن تظل نسبة المياه المحتجزة داخل الندف التي تكونت كبيرة جدا ويكون البوليمر نجح فقط في تقليل كمية المياه الحرة في بيئة الندف .

يوجد عدة أنواع من المياه في خليط الحمأة النشطة MLSS

*المياه الحرة free water وهذا الماء يتم فصله من الحمأة بالترسيب في حوض الترسيب وفي المثخن thickener

*المياه المرتبطة bounding water وهي التي ترتبط مع الندف بروابط كيميائية أو تكون ضمن غشاء الخلايا البكتيرية وهذه المياه الموجودة في غشاء البكتيريا لا يمكن فصلها بالوسائل الميكانيكية المستخدمة مثل الحزام الضاغط والديكانتر وبالتالي زيادة الخلايا الحية سوف تزيد من محتوى المياه وتقلل بالطبع من نسبة المواد الصلبة في الحمأة منزوعة المياه cake sludge

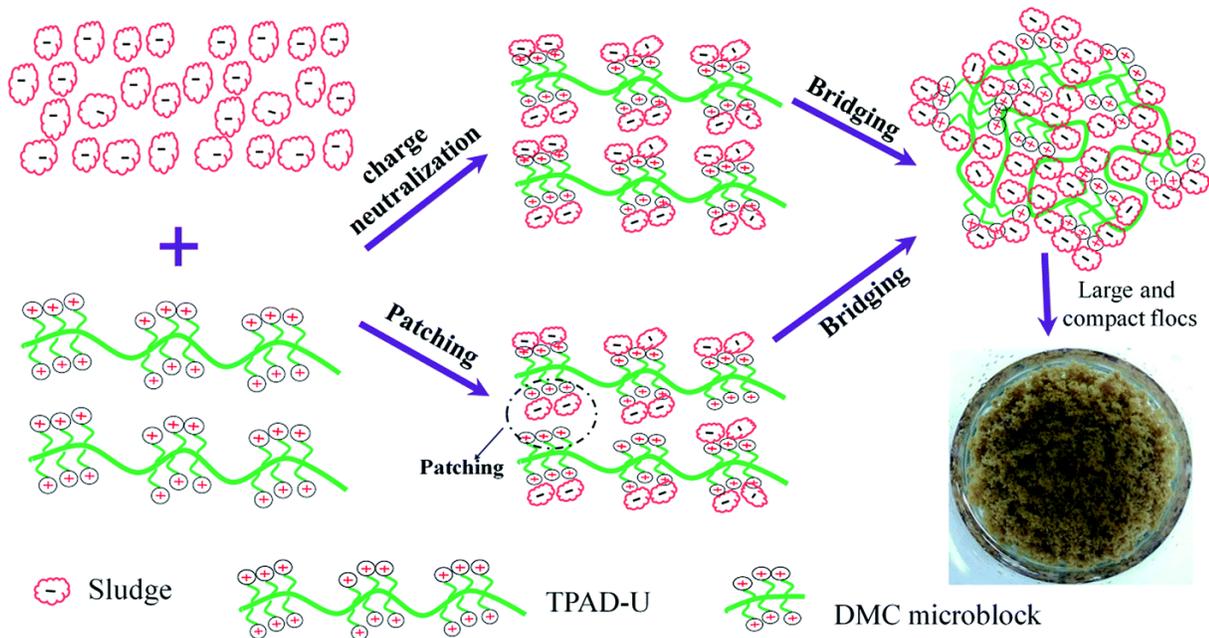
*المياه الموجودة ملاصقة لسطح حبيبات الندف vicinity water وهي ترتبط مع الحبيبات بروابط استاتيكية كهربية electrodtstic bonds وهذه أيضا من الصعب نزعها بالوسائل الميكانيكية المستخدمة وكلما زادت مساحة سطح الحبيبات زادت كمية المياه هذه والتي ستخرج مع الحمأة منزوعة المياه sludge cake

*المياه البينية interstitial water وهذه المياه تتواجد متخلله الفراغ بين الندف ويمكن نزع معظمها بالطرق الميكانيكية مع اضافة البوليمر بجرعات كافية

*المياه الشعرية capillary water وهي تتخلل الشقوق بين المواد الصلبة وتتماسك بالخاصية الشعرية وهذه من الصعب جدا نزعها بالوسائل الميكانيكية

اذا يمكن نزع بعض المياه من الحمأة والبعض يصعب نزعها والبعض يستحيل نزعها بالوسائل الميكانيكية وبالتالي فالوسائل الميكانيكية تنزع مقدار قليل من المياه من الحمأة فمثلا الحزام الضاغط ينزع 18%-20% فقط من المياه بعد اضافة البوليمر

جدير بالذكر أنه لا يوجد بوليمر 100% فمثلا البولي أكريل أميد polyacrylamide يكون تركيز المادة الصلبة منه 88%-96% والباقي رطوبة ومواد خاملة نقول ذلك لأن الشركات تضيف بعض المواد الخاملة أيضا للبوليمر بهدف الربح والتجارة لتقليل تركيز المادة الفعالة وبالتالي يجب عمل لإختبارات جودة على البوليمر لتحديد الجرعة المثالية منه اللازمة لعملية نزع المياه ثم إجراء الحسابات لتحديد كمية البوليمر اللازمة والتركيز المحلولي المناسب منها .



شكل يوضح ميكانيكية فصل المياه من الحمأة بالبوليمر

لاحظ أن الخلط الزائد والعنيف يؤدي الى تقليل الوزن الجزيئي لمحلول البوليمر بكتسير جزيئاته وبالتالي نحتاج للمزيد من البوليمر كما ان المياه التي يتم تحضير المحلول منها يجب ان تكون خالية من المواد الصلبة العالقة لأنها تستهلك جزئاً من المحلول ونؤثر على التركيز المطلوب ومن ثم نحتاج المزيد من البوليمر . يتأثر فاعلية البوليمر الكاتيوني بدرجة الحموضة وبالتالي يجب أن تكون المياه المستخدمة درجة حموضتها 6.5-7.5 هي المناسبة لعمل البوليمر الكاتيوني كما يجب أن تكون غير مطهرة بالكلور ولا يوجد بها كلور حر لأنه يؤكسد جزيئات البوليمر ويفككها ويجعله بدون فاعلية.

7- ثم يقوم المشغل ببدء دورة نزح المياه بعمل شطف للديكانتر ثم تشغيل الطرد المركزي والذي تبدأ معه مضخات التغذية بدفع الحمأة المركزة إلى الديكانتر وفي هذه الأثناء تضخ مضخات محلول البوليمر الجرعة اللازمة لفصل الحمأة عن المياه وتخرج الحمأة بعد العصر إلى السير الناقل بينما تخرج المياه الناتجة من العصر Centrate الى خط التصريف ثم الى مدخل المحطة .



نزع المياه من الحمأة بالطرد المركزي (الديكانتر)

8- بعد الإنتهاء من عملية نزع المياه لكمية الحمأة المستهدفة يتم توقيف مضخات حقن البوليمر ومضخات تغذية الحمأة والإنتظار حتى يتم تدوير كمية الحمأة الموجودة في الديكانتر وتتم عملية الشطف آليا .

الفصل الثالث



إجراءات بدء التشغيل وفق المعايير الواقعية و التصميمية

start up procedures according to actual and design parameters

مقدمة

سوف نوضح الآن بالحسابات الإجراءات الأولية والقياسات والحسابات التي يجب عملها قبيل عملية التشغيل في حالة توفر المعايير التصميمية وأيضاً عند عدم توفر هذه المعايير أو إختلافها ؛ مثلاً في حالة نقص معدل لتدفق اليومي عن التصميمي أو تغير تركيز أيضاً من المعايير التي تم تصميم المحطة عليها مثلاً مثل تركيز الأكسجين الحيوي الممتص BOD5 أو تركيز المواد الصلبة العالقة لمياه الخام .. الخ:

3-1-1 تشغيل المحطة وفق المعايير الواقعية للمياه الخام والتدفق

ذكرنا من قبل أن المحطات يتم تصميمها طبقاً لعدة عوامل حتى يمكن تطويع الكائنات الحية للقيام بعملية المعالجة بسهولة ومنها متوسط معدل تدفق للمياه الخام وحركية الكائنات الحية والمعايير الكيميائية والفيزيائية التي تنتج من التحاليل ؛ لكن هل يلتزم المشغل بالمعايير التصميمية مثل تركيزات الحمأة في أحواض التهوية وحوض الترسيب النهائي وعمر الحمأة التصميمي ... الخ وغيرها من المعايير التصميمية في حال إختلاف معدل التدفق الوارد عن التصميمي وإختلاف معايير المياه الخام الواردة؟؟ وهل يتم إدخال كل أحواض التهوية والترسيب في الخدمة لأي معدل تدفق وارد صغيراً كان أو كبيراً؟؟

الإجابة هي لا يمكن تطبيق المعايير التصميمية تماماً ولكن يقوم المشغل بتغيير المعايير بما يتناسب الحركية البيولوجية للكائنات ويمكنها من القيام بمهامها في المعالجة طبقاً للمتغيرات الواقعية وسوف نشرح كيف يتم ذلك .

3-1-1-1 التجهيز لبدء التشغيل Preparation for Start-Up

يجب عند بدء تشغيل عملية الحمأة النشطة فحص ومراجعة الآتي :

3-1-1 (أ) مراجعة المنشورات والكتيبات

1- منشورات الشركة المصنعة لمكينات والمعدات المستخدمة في عملية المعالجة

- 2- دليل تشغيل وصيانة معدات وحدات المعالجة (المعالجة الأولية ومعالجة الإبتدائية والمعالجة الثانوية والمعالجة الثلاثية والتعقيم والتطهير ومعالجة الحمأة مثل نزع المياه وتجفيف الحمأة... الخ
- 3- قراءة طرق تشغيل الحمأة النشطة من دليل تشغيل محطات معالجة مياه الصرف لوكالة حماية البيئة الأمريكية

1-1-3 (ب) مقابلة كل من فريق المهندسين الإستشاريين وخبراء التشغيل

- 1- معرفة المواصفات التصميمية للمحطة (مثل كمية التدفق الداخلة لحواض التهوية والحمل العضوي BOD درجة الحرارة ؛ حجم حوض التهوية ؛ سعة المضخات للحمأة الراجعة والزايدة ؛ تركيز MLSS
- 2- تقدير نسبة COD/BOD (يجب قياس كلا منهما قبل أسبوع من بداية التشغيل) ؛ وحساب نسبة COD/BOD5

1-1-3 (ج) تقدير الظروف الواقعية أثناء بدء التشغيل

- 1- معدل التدفق الحقيقي عند بدء التشغيل
- 2- تقدير الحمل العضوي وتركيز BOD5 عند بدء التشغيل
- 3- درجة الحرارة عند بدء التشغيل
- 4- حجم الأحواض أو الحوض التي سوف تدخل الخدمة فعليا عند بدء التشغيل طبقا لمعدل التدفق الحقيقي عند بدء التشغيل

1-1-3 (د) تقدير تركيز المواد الصلبة بحوض التهوية

- يتم تقدير التركيز الحقيقي MLSS المطلوب (أقل تركيز يناسب العملية تحت هذه الظروف) لعملية بدء التشغيل بناء على المعطيات السابقة

2-1-3 خطوات بدء التشغيل Start-Up Procedure

توجد طريقتان لبدء عملية التشغيل وتكوين الحمأة النشطة لبدء العملية البيولوجية

2-1-3 (أ) باستخدام طريقة حمأة التلقيح seed sludge

يتم تلقيح أحواض التهوية بحمأة نشطة جاهزة بحيث يكون تركيز الحمأة بالحوض MLSS على الأقل 500 ملجم/ل ويجب أن يكون الأكسجين الذائب بالحوض 2-3 ملجم/ل كما يجب أن يكون معدل التدفق الوارد لحوض التهوية في هذه الأثناء 10% من إجمالي معدل التدفق الوارد للمحطة ويتم زيادته بنسبة 10% يوميا إذا لم يكن هناك مانع يعوق الإجراء .

1-1-3 (ب) تكوين الحمأة النشطة activated sludge formation

في هذه الطريقة يتم ملئ حوض التهوية بالمياه الخام (أو فتح خط الإحتياط by pass في حالة وجود حوض ترسيب ابتدائي) حيث أن المياه الخام تحتوي على كمية من الكائنات الدقيقة التي ستقوم بتكوين الحمأة النشطة ؛ يجب تشغيل توافخ الهواء قبل دخول المياه الخام للحوض حتى نتجنب إنسداد فواني الهواء وبحيث توفر أكسجين ذائب في حدود 2-3 ملجم/ل ؛ وإن أمكن يتم دخول المياه الخام في 8 ساعات وفي وجود تشغيل لنوافخ الهواء لتوفير الأكسجين الذائب والتقليب أيضا وبعد 7 ساعات يتم إيقاف النوافخ وترك المياه حتى يترسب ما بها من مواد صلبة لمدة من 30-60 دقيقة قبل السماح للمزيد من المياه الخام بالدخول الى الحوض لكي يزبح المياه الرائقة من حوض التهوية الى المرووق الثانوي ؛ ثم يتم إعادة تهوية الخليط بحوض التهوية ثم السماح له بالترسيب مره أخرى كما سبق ويتم الإستمرار في هذه العملية حتى يصل تركيز MLSS 500 ملجم/ل بالحوض وهو التركيز الواجب توافره قبل بدء عملية التدفق المستمر للعملية حتى نصل الى التركيز المناسب حسب التصميمي للمحطة أو الحسابي حسب معدل التدفق الوارد للمحطة (أقل تركيز يجب أن يتوفر لعملية المعالجة) كما يجب متابعة تركيز الأكسجين الذائب باستمرار حتى يكون في الحدود اللازمة للنشاط الحيوي للكائنات الحية بالحوض .

وبعض النظر عن الطريقة المستخدمة لبدء التشغيل لا يتم التخلص من أي كمية حمأة زائدة إطلاقاً في مرحلة بدء التشغيل ويتم تشغيل مضخات الحمأة الراجعة بحيث لا يتكون أي غطاء حمأة في حوض الترسيب بل ستكون كل الحمأة المتكونة راجعة الى حوض التهوية .

بمجرد تكون التركيز المناسب من MLSS بحوض التهوية لمعدل التدفق الوارد للمحطة يتم ضبط مضخات الحمأة الراجعة حتى يكون معدل رجوع الحمأة مناسباً لتشغيل العملية بالطريقة التي تحافظ على معدل مناسب من الميكروبات يتناسب مع كمية الغذاء الواردة بالمياه الخام .

يمكن حساب وضبط معدل رجوع الحمأة من خلال إختبار ترسيب الحمأة كالتالي :

معدل ضخ الحمأة الراجعة = النسبة المئوية ل MLSS خلال 60 دقيقة X (معدل التدفق الداخل للمحطة + معدل تدفق الحمأة الراجعة) أو ضبطة طبقاً للتصميمي

وبمجرد تقدير معدل ضخ الحمأة الراجعة ستبدأ طبقة الحمأة التي تسمى غطاء بالتكوين في حوض الترسيب الثانوي وعندما يصل سمكها الى 33 سم يتم فوق قاع حوض الترسيب نبدأ في حساب كمية الحمأة الزائدة التي يجب تخريجها .

سوف يغير معدل ضخ الحمأة الزائدة أيضاً معدل ضخ الحمأة الراجعة ويمكن حساب معدل ضخ الحمأة الزائدة كما سنوضح لاحقاً سواء في حال التشغيل بمعدل التدفق التصميمي أو معدل تدفق أقل من التصميمي

يجب ضبط مضخات الحمأة الراجعة والزائدة كما سبق الا أنه إذا تغيرت خواص المياه الخام فيجب تغيير تركيز MLSS المرغوب فيه ؛ يجب تقليل أو زيادة ضخ الحمأة النشطة الزائدة بحيث يتم الحفاظ على تركيز MLSS الأمثل بحوض التهوية ومن ثم تتم عملية المعالجة بأعلى كفاءة ممكنة .

عندما تصل عملية المعالجة لحالة الثبات سوف تبدأ الحمأة النشطة في الترسيب تاركة محلول رائق ليس له رائحة وثابت أيضا وسترى الندف في صورة حبيبات ذات حواف واضحة ومحددة بنية- ذهبية اللون لها رائحة التراب .

إلا أنه في بعض الأحوال أثناء بداية التشغيل يحدث بعض الأمور التي تؤدي الى كفاءة تشغيل غير جيدة ؛ يجب أن يفهم المشغل أنه لن يحصل على نتائج سريعة من أي م وسائل التحكم في عملية الحمأة النشطة والمشغل صاحب الخبرة الكبيرة سوف يكون له قيمة كبيرة عندما تنشأ هذه المشاكل أثناء عملية المعالجة .

أثناء بدء التشغيل سوف يكون المنتج الثانوي غير ثابت ويرجع ذلك ربما إلى عدم إكمال المعالجة البيولوجية لمحتويات المياه الخام ؛ يتم استخدام الكلور لتعقيم المياه الناتجة بالقدر الكافي كما لا يجب زيادة تركيز الكلور حتى لا يؤثر على الكائنات الحية في المياه المستقبلية للمياه المعالجة .

يمكن استخدام كلوريد الحديدك أو كبريتات الألومنيوم أو البوليمر لزيادة تركيز وتخثير المواد الصلبة العالقة بحوض الترسيب ان لزم الأمر لتقليل الحمل العضوي في المياه المعالجة ثنائيا لتقليل خطرها على البيئة والمياه المستقبله لها حيث يتم خلط محتويات حوض التهوية بالبوليمر قبل دخوله الى حوض الترسيب النهائي .

أثناء بدء التشغيل يكون تركيز MLSS صغير ومن المحتمل تكون رغاوي تطفو على سطح حوض التهوية وغالبا تنتج هذه الرغاوي من المنظفات الصناعية الواردة مع المياه الخام ؛ تحتوي الرغاوي على كائنات حية ومواد صلبة وشحوم ويجب السيطرة عليها فورا ويمكن تحقيق ذلك برشها بمياه صرف صحي منزلي خام كما يمكن استخدام مضادات الرغاوي بالتزامن مع ضخ مياه الصرف الصحي المنزلي الخام لتحسين الأداء وسرعة السيطرة على الرغاوي كما يمكن أن يقوم المشغل بخفض معدل التهوية مع الحفاظ على تركيز الأكسجين الذائب أثناء تكوين MLSS للتحكم في الرغاوي .

في بداية التشغيل يمكن أن تتكثف الحمأة نتيجة الحمل الزائد على حوض التهوية ؛ وتكثف الحمأة مؤشر على ضعف الترسيب وعدم إنضغاط الندف أثناء تكوينها بشكل مناسب مما يزيد سمك غطاء الحمأة بحوض الترسيب النهائي وارتفاع الحمأة فوق هدار الحوض وخروجها مع المياه ؛ سوف يتناقص قدرة الحمأة على الترسيب ومن ثم سيرتفع قيمة مؤشر حجم الحمأة SVI وستكون الندف في هذه الحالة خفيفة و رقيقة أو هشه Fluffy وترجع ظاهرة تكثف الحمأة الى الخيطيات التي تربط نفسها من ندفة الى أخرى وبالتالي تمنع تقارب الندف وإنضغاطها بصورة كافية لتكون كتل بحجم ووزن مناسب للترسيب ؛ سبب آخر لتكثف الحمأة هو الماء المرتبط بالندف bound water والذي يحتوى البكتيريا التي تشكل الندف

مما يجعل الندف منتفخة وتقل كثافتها ؛ يرجع تكثف الحمأة الى إنخفاض درجة الحموضة أو الأكسجين الذائب أو النيتروجين أو المخلفات الصناعية أو صرف البيارات أو التسمم أو زيادة نسبة الغذاء الى الكائنات الحية F/M والحل في هذه الحالة هو زيادة عمر الحمأة أو تقليل نسبة F/M كما يجب مراجعة تركيزات درجة الحموضة لمعرفة سبب إنخفاضها وكذلك الأكسجين الذائب وضبط تركيزه في الأحواض وفحص معدات التهوية لمعرفة ما إذا كانت تعمل بشكل مناسب يوفر التركيز اللازم (2-3 ملجم/ل) ؛ في حالة لإنخفاض درجة الحموضة يمكن استخدام الجير مع مساعد تخثير لرفع درجة الحموضة وتحسين خواص الترسيب ومن ثم السيطرة على تكثف أو تضخم الحمأة ؛ بالنسبة لإرتفاع نسبة F/M (إنخفاض عمر الحمأة) يمكن زيادة عمر الحمأة بتقليل معدل تخريج الحمأة الزائدة وزيادة معدل رجوع الحمأة الراجعة الى حوض التهوية والذي ينتج عنه زيادة تركيز MLSS وبالتبعية زيادة MLVSS بحوض التهوية وكل هذه الحلول سوف تؤدي الى زيادة عمر الحمأة .

يجب مراجعة بيانات التشغيل والنتائج السابقة إن وجدت وتسجيل البيانات الحالية وسبب حدوث المشكلة وكيفية حلها حتى يتثنى للمشغل حل المشاكل المستقبلية بسهولة إذا ما حدثت مجددا .

يجب ألا نخلط بين ارتفاع الحمأة وتكثف الحمأة لأنهما حالتان مختلفتان تماما ؛ في حالة إرتفاع الحمأة تكون خواص الترسيب وأيضا إنضغاط الندف جيدة وهي تنتج من زيادة زمن مكث الحمأة في حوض الترسيب مما

يؤدي الى ارتفاع الحمأة في صورة قطع تتراوح في حجمها من حجم حبة البازلاء الى حجم كرة السلة مكونة رغوة أو زبد بني اللون على سطح حوض الترسيب ؛ ونتيجة لزيادة زمن مكث الحمأة بحوض الترسيب يقل الأكسجين الذائب بالحوض وبالتالي تتوفر البيئة المناسبة لعملية نزع النتريته denitrification والتي ينتج منها غاز النيتروجين شحيح الذوبان في الماء والذي يتخلل الندف مما يقلل من كثافة الحمأة ويجعلها تتصاعد الى أعلى سطح الحوض ؛ بزيادة معدل رجوع الحمأة ومعدل تخريج الحمأة سوف يقل عمر الحمأة وأيضا سوف يقل زمن مكث الحمأة بحوض الترسيب وسيتوقف ارتفاع أو تصاعد الحمأة الى سطح الحوض .

إذا كانت عملية بدء التشغيل في الشتاء ستأخذ عملية تكوين MLSS وقتا طويلا وسيتغير الحمل ومعدل التهوية بمعنى أن العملية سوف تحتاج الى تهوية أقل ومواد صلبة أكثر لزيادة فاعلية العملية ؛ يجب أن يكون المشغل حذرا عند تغيير أسلوب التشغيل ؛ يجب أن يتم التغيير تدريجيا وخطوة خطوة لأن التغيير السريع اذا كان خطأ سوف يبعد العملية الى مسار خاطئ سريع يترتب عليه انتقال لخطأ أكبر في الخطوة التالية .



3-2 متابعة العملية أثناء بدء التشغيل Process Monitoring During Start-Up

1- يتم قياس معايير التحكم في العملية وتشمل (تركيز الخليط المتخمر للمواد الصلبة MLSS و تركيز الأكسجين الذائب D.O والأكسجين الحيوي الممتص والكيماوي المستهلك BOD5 & COD تركيز المواد الصلبة في حوض الترسيب النهائي SS وقياس حجم الحمأة SV ومشر حجم الحمأة SVI وحساب نسبة

F/M

2- حساب معدل التدفق للحمأة الراجعة عندما يصل تركيز MLSS الى أقل تركيز يناسب عملية بدء التشغيل

3- السماح للحمأة في حوض الترسيب الثانوي بتكوين غطاء أو بطانية الحمأة

4- حساب كمية الحمأة الزائدة والبدء في تخريجها

3-3 التشغيل الطبيعي Normal Operation

1- استمرار قياس معايير التحكم في التشغيل وقياس معايير المياه الناتجة من المعالجة (مثل BOD5 للداخل والخارج و تركيز MLSS في حوض التهوية والمواد الصلبة العالقة TSS في حوض الترسيب الثانوي وكذلك قياس حجم الحمأة ومؤشر حجم الحمأة لكل من حوض التهوية والحمأة الراجعة والأكسجين الذائب بحوض التهوية ونسبة F/M)

2- ضبط العملية (ضبط معدل رجوع الحمأة QRAS ومعدل تخريج الحمأة QWAS وكمية الهواء لتوفير الأكسجين المطلوب)

3-4 إجراءات التشغيل وحسابات العمليات البيولوجية والكيميائية وفقا لمعايير المياه الخام الواقعية

3-4-1 أولا متوسط المعايير الواقعية للمحطة

$$Q_{\text{inff.}} = 200000 \text{ m}^3 / \text{d} \text{ متوسط معدل التدفق اليومي}^*$$

* عدد أحواض التهوية 2 (A+B) 191126 m^3 يقسم كل حوض إلى 4 حارات (أو أحواض) lanes بمساحة 23891 m^2 لكل حارة بإجمالي 95563 m^3 للحوض A ومثلها للحوض B

$$\text{BOD5} = 150 \text{ mg/l} \text{ تركيز الاكسجين الحيوي الممتص للمياه الخام}^*$$

$$\text{TSS} = 180 \text{ mg/l} \text{ تركيز المواد الصلبة العالقة للمياه الخام}^*$$

1- يتم حساب تركيز المزيج المتخمر لحوض التهوية اللازم لعملية التشغيل كالتالي :

$$\text{Minimum MLSS conc.} = \text{design MLSS} \times \frac{\text{actual (BOD5} \times Q_{\text{inffl}})}{\text{design (BOD5} \times Q_{\text{inffl}})}$$

لأقل تركيز تصميمي

$$\text{Minimum MLSS conc.} = 3600 \text{ mg/L} \times \frac{(150 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 200000 \text{ m}^3/\text{d})}{\text{design} (350 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 200000 \text{ m}^3/\text{d})}$$

$$\text{MLLS} = 1543 \text{ mg/l} \text{ التركيز المطلوب من المزيج المتخمر بحوض التهوية}$$

لأعلى تركيز تصميمي

$$\text{Minimum MLSS conc.} = 4500 \text{ mg/L} \times \frac{(150 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 200000 \text{ m}^3/\text{d})}{\text{design} (350 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times 200000 \text{ m}^3/\text{d})}$$

$$\text{MLLS} = 2250 \text{ mg/l} \text{ تركيز المزيج بحوض التهوية}$$

2- حساب معدل تدفق الحمأة الراجعة

يتم حساب تركيز الحمأة الراجعة من ائزان الكتلة للمواد الصلبة التي تخرج وتدخل الى حوض الترسيب كالتالي :

من المعادلة نجد ان

$$(Q_{infl.} + Q_{RAS}) \times MLSS = Q_{RAS} \times RAS_{MLSS} + Q_{effl.} \times TSS_{effl.}$$

وحيث ان تركيز المواد الصلبة الخارجة مع المياه المروقة صغير يمكن اهماله

$$(Q_{infl.} + Q_{RAS}) \times MLSS = Q_{RAS} \times RAS_{MLSS}$$

$$RAS_{MLSS,con} = \frac{(Q_{infl.} + Q_{RAS}) \times MLSS}{Q_{RAS}}$$

اذا كان معدل تدفق الحمأة الراجعة هو 75% من معدل التدفق الداخل للمحطة

$$RAS_{MLSS} = \frac{[200000 + (200000 \times 0.75)] \times 1543}{150000} = 3600 \text{ mg/l}$$

أو في حالة التركيز الأعلى ستكون

$$RAS_{MLSS} = \frac{[200000 + (200000 \times 0.75)] \times 2250}{150000} = 5250 \text{ mg/l}$$

تركيز الحمأة الراجعة والزائدة :

$$WAS_{MLSS} \& RAS_{MLSS} = 3600 \text{ mg/l} - 5250 \text{ mg/l}$$

$$\text{Aeration MLSS} = 1543 \text{ mg/l} - 2250 \text{ mg/l}$$

(تركيز المواد الصلبة للحمأة الراجعة = تركيز المواد الصلبة للحمأة الزائدة)

ثم نحسب معدل تدفق الحمأة الراجعة

$$Q_{RAS} = \frac{Q_{inffl.}(MLSS - TSS)}{(RAS_{MLSS} - MLSS)}$$

في حالة ما اذا كان العكس موجود وهو ان تركيز الحمأة معلوم وكمية التدفق غير معلومة او اذا كان مطلوب تغيير معدل تدفق الحمأة الراجعة ؛ وحيث أن تركيزات MLSS في حوض التهوية يجب أن تتحصر بين

$$\text{Aeration MLSS} = 1543 \text{ mg/l} - 2250 \text{ mg/l}$$

وتركيزات الحمأة الراجعة تتحصر بين :

$$WAS_{MLSS} \& RAS_{MLSS} = 3600 \text{ mg/l} - 5250 \text{ mg/l}$$

2-4-3 معدل تدفق الحمأة الزائدة

لتقدير معدل تدفق الحمأة الزائدة يجب توفر بيانات مثل عمر الحمأة وتركيز المواد الصلبة للحمأة الزائدة وتركيز المواد الصلبة للمزيج المتخمر في حوض التهوية وحجم حوض التهوي (مخزون المواد الصلبة بالحوض)

$$Q_{WAS} = \frac{V \times MLSS}{SRT \times MLSS_{WAS}}$$

*عمر الحمأة (زمن مكث المواد الصلبة) التصميمي طبقا لدرجة الحرارة

$$\text{sludge age (SRT)} = 8.81 \text{ Days}$$

لكن نظرا لإختلاف التركيزات في حوض التهوية وإنتاجية الحمأة سوف يختلف عمر الحمأة ؛ يعرف عمر الحمأة بأنه كتلة المواد الصلبة بحوض التهوية مقسومة على كمية الحمأة التي يتم تخريجها من النظام وهي تساوي الإنتاجية اليومية للحمأة

$$SP_{d,C@32} = B_{C,BOD} * [0.75 + (0.6 * \frac{336}{292}) - (\frac{(1-0.20) * 0.17 * 0.75 * 8.81 * 3.27}{1 + (0.17 * 8.81 * 3.27)})] \text{ (kg/d)}$$

$$\text{Organic load } B_{C,BOD} = \text{BOD5 kg/m}^3 \times Q_{inffl. m^3/d} = 0.150 \times 200000 = 1340 \text{ kg DS/d}$$

$$S.P = 30000 \text{ kg/d} \times (0.75 + 0.6 \frac{308}{268} - (1-0.2) \times \frac{0.17 \times 0.75 \times 8.8 \times 3.27}{1 + (0.17 \times 8.8 \times 3.27)}) = \mathbf{32442 \text{ kg DS/d}}$$

$$SRT = \frac{\text{Aeration volume } m^3 \times MLSS \frac{kg}{m^3}}{WAS (\text{sludge production}) \frac{kg}{d}}$$

$$SRT = \frac{191126 \text{ m}^3 \times 1.543 \frac{kg}{m^3}}{32442 \frac{kg}{d}} = \mathbf{9.1 d}$$

$$SRT = \frac{191126 \text{ m}^3 \times 2.250}{32442 \frac{kg}{d}} = \mathbf{13.25 d}$$

كل البيانات الان متاحة لحساب معدل تدفق الحمأة الزائدة من العلاقة التالية :

معدل تدفق الحمأة الزائدة

$$Q_{WAS} = \frac{191126 \text{ m}^3 \times 1543 \text{ mg/l}}{9.1 \text{ d} \times 3600 \text{ mg/l}}$$

$$Q_{WAS} = \mathbf{9002 \text{ m}^3/d}$$

وعند التركيز الاعلى سيكون

معدل تدفق الحمأة الزائدة

$$Q_{WAS} = \frac{191126 \text{ m}^3 \times 2250 \text{ mg/l}}{13.25 \text{ d} \times 5250 \text{ mg/l}}$$

$$Q_{WAS} = \mathbf{6182 \text{ m}^3/d}$$

يمكن حساب معدل تدفق الحمأة الزائدة أيضا عن طريق إنتاجية الحمأة في اليوم كالتالي:

$$Q_{WAS} = \frac{32442 \frac{\text{kgDS}}{\text{d}}}{3.6 \times 1.020} = 8835 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{WAS} = \frac{32442 \frac{\text{kgDS}}{\text{d}}}{5.250 \times 1.020} = 6058 \text{ m}^3/\text{d}$$

وحيث أن تصرف مضخات الحمأة الزائدة هي $150 \text{ m}^3/\text{hr}$ لكل مضخة فإنه يكون عدد ساعات التشغيل هو

$$\text{Hours interval} = \frac{8835 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{150 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 4 \text{ pump}} = 14.73 \text{ hr/d/pump}$$

يوجد (4+2) مضخة ثلاثة لكل حوض تعمل إثنان منها أساسية وواحدة احتياطية لكل حوض (A+B) ؛ وبفرض تشغيل مضخة واحدة من كل حوض بشكل أساسي سوف تعمل المضخة 14.73 ساعة على مدار اليوم ويفضل ان يكون تخريج الحمأة موزع على مدار اليوم ويمكن تبديل المضختان في اليوم التالي بالمضختان اللتان تعملان بشكل أساسي اليوم التالي .

3-4-3 حساب نسبة الغذاء الى الكائنات الحية F/M

*ثم نحسب نسبة الغذاء للكائنات الحية F/M بحوض التهوية وذلك بعد حساب نسبة المواد الصلبة الطيارة

MLVSS

تركيز المواد الصلبة الطيارة بالمزيج

$$\text{MLVSS} = 0.75 * 1543 \text{ mg/l} = 1312 \text{ mg/l}$$

أو تركيز المواد الصلبة الطيارة بالمزيج

$$\text{MLVSS} = 0.75 * 2250 \text{ mg/l} = 1913 \text{ mg/l}$$

$$F/M = \frac{(BOD5 * Q_{inflow})}{MLVSS * V_{aeration}}$$

$$F/M = \frac{(150 \frac{mg}{l} * 200000 m^3/d)}{1312 \frac{mg}{l} * 191126 m^3} = 0.1196$$

أو

$$F/M = \frac{(150 \frac{mg}{l} * 200000 mg/l)}{1913 \frac{mg}{l} * 191126 m^3} = 0.082$$

وبالنسبة للتركيز التصميمي للمزيج المتخمر للمواد الصلبة العالقة **MLSS = 3600 mg/l** أو
المواد الصلبة العالقة الطيارة في المزيج المتخمر وهي تتراوح بين 75%-85% ويفرض أنها 75% يكون

تركيزها **MLVSS = 2700 mg/l**

$$F/M = \frac{(150 \frac{mg}{l} * 200000 mg/l)}{2700 \frac{mg}{l} * 191126 m^3} = 0.058$$

$$F/M = 0.082 - 0.1196 \text{ kg BOD / d / kg MLVSS}$$

وتركيزات الحمأة الراجعة تتحصر بين :

$$WAS_{MLSS} \& RAS_{MLSS} = 3600 \text{ mg/l} - 5250 \text{ mg/l}$$

بقسمة انتاجية الحمأة في اليوم على تركيز الحمأة الراجعة نحصل على كمية الحمأة الناتجة بالتر الكعب
في اليوم وهي نفس كمية الحمأة الزائدة التي يجب تخرجها يوميا Q_{WAS}

$$Q_{WAS} = \frac{32442 \text{ kg/d}}{3.6 \text{ kg/m}^3} = 9012 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Q_{WAS} = \frac{32442 \text{ kg/d}}{5.250 \text{ kg/m}^3} = 6179 \text{ m}^3/\text{d}$$

3-4-4 متوسط زمن بقاء الخلية MCRT Mean Cell Residence Time

يتم التعبير عن زمن مكث الحمأة النشطة أو عمر الحمأة بطريقة أخرى وهي زمن مكث الخلية في النظام mean cell residence time MCRT وهو يختلف عن زمن مكث المواد الصلبة SRT أو عمر الحمأة Sludge age والفرق بين زمن مكث المواد الصلبة أو عمر الحمأة من ناحية وزمن مكث الخلية بالنظام هو أن زمن مكث الخلية يعبر عن الفترة الزمنية التي تبقى فيها الحمأة النشطة في النظام ككل سواء أحواض التهوية أو أحواض الترسيب بينما عمر الحمأة أو زمن مكث المواد الصلبة يعبر عن الزمن التي تبقى فيه الحمأة النشطة تحت تأثير التهوية بأحواض التهوية فقط ومن هنا نتوقع أن زمن مكث الخلية سيكون أطول من زمن مكث المواد الصلبة أو عمر الحمأة ؛ عادة يتم إهمال المواد الصلبة الخارجة لصغر قيمتها .

$$\text{Mean Cell Residence Time, day} = \frac{[\text{MLSS mg/L} \times (\text{Aeration Vol.} + \text{Clarifier Vol.})]}{[(\text{WAS}_{\text{MLSS}} \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \text{Q}_{\text{WAS}}) + (\text{TSS out} \times \text{flow out})]}$$

$$\text{Mean Cell Residence Time, day} = \frac{[2250 \text{mg/L} \times (191126 \text{ m}^3 + 48834 \text{ m}^3)]}{[(5250 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 6179 \text{ m}^3/\text{d})]} = 16.64 \text{d}$$

$$\text{Mean Cell Residence Time, day} = \frac{[1.543 \text{mg/L} \times (191126 \text{ m}^3 + 48834 \text{ m}^3)]}{[(3600 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 9012 \text{ m}^3/\text{d})]} = 11.41 \text{d}$$

3-5 إستراتيجيات التحكم في العملية البيولوجية

Biological Process Control Stratgies

توجد عدة استراتيجيات متبعة للتحكم في عملة المعالجة بالحماة النشطة هي

• التحكم في معدل رجوع الحماة QRAS

• التحكم في معدل تخريج الحماة QWAS

• إتران الكتلة Mass Balance

ويتم استخدام هذه الإستراتيجيات الثلاثة عن طريق التحكم بعوامل أخرى تشمل

• التحكم في نسبة الغذاء الى الكائنات الحية F/M

• التحكم في زمن مكث الخلية بالنظام MCRT

• التحكم في عمر الحماة أو زمن مكث المواد الصلبة SRT

• التحكم في تركيز الخليط المتخمر للمواد الصلبة العالقة في حوض التهوية MLSS

• جودة الحماة المنتجة Sludge quality

يتم مراجعة بيانات التشغيل ونتائج المختبر بغرض إختيار أنسب المعايير للتحكم في العملية بحيث تظل في أفضل حالات التشغيل الممكنة مثل F/M , MLSS , GSA , MCRT كما يتم اختبار جودة الحماة في حوض التهوية لمعرفة جودتها كحماة معادة أو حماة زائدة .

يجب ملاحظة ان الترسيب الضعيف يمكن ان يرجع الى قلة الاكسيجين الذائب بأحواض التهوية (أقل من 0.5 mg/l) .

3-5-1 إختيار استراتيجية التحكم Selecting a Control Strategy

العديد من المشغلين يفضل استخدام كمية المواد الصلبة التي يتم تخريجها يوميا أو معدل تدفق الحماة الزائدة QWAS للحفاظ على مخزون مواد صلبة ثابت ؛ ويعتبر زمن مكث الخلية MCRT (أو زمن مكث المواد

الصلبة SRT أو عمر الحمأة الذهبي GSA) هو المستخدم غالبا في محطات معالجة مياه الصرف المنزلي ؛ عند زمن مكث خلية ما في النظام MCRT يتم تخريج نفس كمية الحمأة يوميا من النظام ما لم يتغير معدل التدفق اليومي للمحطة ؛ على العكس من ذلك فإن معدل تدفق الحمأة الزائدة QWAS المبني على نسبة الغذاء الى الكائنات الحية F/M سوف يعتمد على التغير في تركيز الكربون العضوي BOD الداخل للمحطة وايضا معدل تخريج الحمأة المبني على ثبات تركيز الخليط المتخمر للمواد الصلبة بحوض التهوية MLSS سوف يعتمد على التغير في معدل نمو الكائنات الحية (الناتج اصلا من التغير في معدل التدفق ومكونات المياه الخام) ومن ثم فإنه أسهل للمشغل أن يحافظ على زمن مكث للخلية في الزمان MCRT أفضل من المحافظة على نسبة ثابتة F/M أو تركيز ثابت من MLSS وهذا يجعل المشغل أكثر تحكماً بالعملية ويجعل العملية ذاتها أكثر ثباتا عندما تستخدم طريقة MCRT (الا انه في بعض الحالات لا تكون هذه الطريقة هي الأمثل).

بالنسبة للمحطات التي تستقبل مياه صرف لمصانع الأغذية يكون هناك حمل عضوي زائد من BOD يمكن توقعه وفي هذه الحالة تكون نسبة F/M هي الأنسب عن MCRT و MLSS لأنه في هذه الحالة لا توفر MCRT مخزون من المواد الصلبة العضوية (الحمأة النشطة أو الكائنات الحية) يكفي لإستهلاك الحمل العضوي الداخل للمحطة .

بالنسبة للمحطات الصغيرة تستخدم MLSS في عملية التحكم وذلك لأن التحاليل المخبرية اللازمة لتعيين تركيزها بسيطة ولا تحتاج لأجهزة في عملية تقدير التركيز واذا لم يحبذ المشغل استخدامها فتكون طريقة MCRT هي البديل المثل .

لاحظ ان درجة الحرارة تؤثر على كل العوامل التي من خلالها يمكن التحكم في عملية المعالجة فمثلا في الطقس البارد او أثناء فصل الشتاء اذا ظل المشغل على نفس معدل تخريج الحمأة الذي كان يقوم به في فصل الصيف فسيؤدي ذلك الى نقصان كمية الكائنات الحية بالنظام (معدل نمو الكائنات الحية يقل كلما انخفضت درجة الحرارة) وبالتالي لكن تكون كمية الكائنات الحية أو بمعنى آخر المخزون الصلب للمواد

العضوية بأحواض التهوية أو الحمأة النشطة غير كافية لمعالجة الكربون العضوي COD ولا الأمونيا الداخلة للمحطة وبالتالي يجب تقليل معدل تخريج الحمأة لكي يطول زمن مكث الخلية MCRT فتتكون كمية الكائنات الحية أو يزيد تركيز MLSS وبالتالي تركيز MLVSS .

3-5-2 التحكم في معدل تدفق الحمأة الراجعة QRAS Return Activated Sludge Rate Control

يوجد اسلوبين للتحكم في كمية الحمأة الراجعة RAS أو معدل تدفق الحمأة الراجعة QRAS ومن ثم جودة عملية الحمأة النشطة عموماً

- 1-التحكم في RAS بغض النظر عن معدل التدفق الداخل للمحطة (تتميز هذه الطريقة انها بسيطة - اعلى معدل حمل للمواد الصلبة على حوض الترسيب عن لحظة اعلى تدفق يصل للحوض في ساعة الذروة)
 - 2-التحكم في RAS بنسبة ثابتة من معدل التدفق الداخل للمحطة (تتميز هذه الطريقة انها تخفض التغيير في تركيز MLSS ويكون التغيير في نسبة F/M ضئيل - كما ان MLSS سوف يبقى في حوض الترسيب لمدة قصيرة مما يقلل احتمالية حدوث نزع نترتة denitrification في حوض الترسيب والذي يؤدي ان حدث لطفو الحمأة على سطحه نتيجة تصاعد غاز النيتروجين حاملاً معه كتل الحمأة)
- عيب استخدام اسلوب التدفق الثابت للتحكم هو أن نسبة F/M متغيرة ؛ بينما عيب الاسلوب الثاني في التحكم هو ان حوض الترسيب لأعلى حمل مواد صلبة عندما يحتوي حوض الترسيب على أكبر كمية من المواد الصلبة مما قد يؤدي الى فيضان المواد الصلبة خارج الحوض من فوق الهدار .

المحطات التي يكون فيها معدل التدفق للمياه الخام لها في حدود 35 الف متر مكعب أو أقل غالباً تخضع لما يسمى العمليات الهيدروليكية الكبيرة >

في الأنظمة التي يكون فيها زمن مكث الخلية قصير MCRT ومخزون المواد الصلبة SI قليل يكون معدل تدفق الحمأة الراجعة 25%-50% من معدل التدفق الداخل للمحطة (والمثالي 30%-40%) ؛ وفي

الأنظمة التي يكون فيها زمن مكث الخلية طويل MCRT ومخزون المواد الصلبة SI كبير يكون معدل تدفق الحمأة الراجعة يكون 100%-150% من معدل التدفق الداخل للمحطة ويمكن فهم ذلك بأنه كلما زاد المخزون من المواد الصلبة ارتفع زمن مكث الخلية وتكون الحاجة لمعدلات عالية من الضخ للحمأة لأزالتها من حوض الترسيب .

طبقا لحسابات التصميم لمحطة يتبع يتم تشغيل المحطة بحيث يكون معدل تدفق الحمأة الراجعة 75% من معدل تدفق المياه الخام .

التحكم في الحمأة الراجعة يتم عن طريق التحكم في أكثر من عامل مثل غطاء أو بطانية الحمأة ؛ إتران الكتلة (الداخل للنظام والمعاد لحواض التهوية والخارج) ؛ الترسيب ومؤشر الحمأة SVI . بصفه عامة تكون عمليات الحمأة النشطة يكون آدائها أفضل وتحتاج الى احذر أقل اذا تم استخدام اسلوب معدل تدفق ثابت للحمأة المعادة

لأي من أسلوبي التحكم في الحمأة المعادة RAS توجد عدة تقنيات يمكن استخدامها لتثبيت معدل تدفق الحمأة المعادة وهي

1-متابعة عمق غطاء الحمأة

2-مبدأ إتران الكتلة

3-قابلية الترسيب

4-مؤشر حجم الحمأة SVI

2-3-5 (أ) قياس غطاء الحمأة sludge blanket measuring :

يتم قياس غطاء الحمأة على مدار اليوم ووتوجد أجهزة يتم تركيبها على احواض الترسيب تعطي قراءات عن سمك الغطاء ويفضل ان يكون ما بين 30-90 سم .

2-3-5 (ب) إتران الكتلة Mass balance :

إذا كان معدل التدفق لمياه الصرف الخام الى المحطة هو Q ومعدل تدفق الحمأة المعادة R فإن مجموع ما يدخل وما يخرج لحوض التهوية هو Q+R ذلك لأن الحوض يكون ممتلئ بحجم ثابت من MLSS ؛ ايضا سيكون التدفق الذي يدخل حوض الترسيب هو ايضا Q+R وينقسم بعد حوض الترسيب حيث يخرج R كحمأة معادة و Q مياه مروقة .

مثال يوضح التحكم بالحمأة المعادة باستخدام ائزان الكتلة طبقا لمحطة المدينة الخليل المرحلة الثانية

البيانات المطلوبة :

$$Q \text{ influent wastewater flow} = 200000 \text{ m}^3$$

$$\text{MLSS concentration} = 1.543\text{--}2.250 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{RAS}_{\text{MLSS}} \text{ return sludge concentration} = 3600\text{--}5250 \text{ kg/m}^3$$

2-5-3 (ج) يتم تقدير معدل تدفق الحمأة الراجعة Q_{RAS} طبقا لنسبة $MLSS$ الى RAS كالتالي

بالنسبة للتصميمي

$$Q_{\text{RAS}} \text{ m}^3/\text{d} = \frac{Q_{\text{infl}} \times \text{MLSS}}{\text{RAS}_{\text{MLSS}} - \text{MLSS}}$$

$$Q_{\text{RAS}} \text{ m}^3/\text{d} = \frac{200000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 3.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{8.4 \text{ kg/m}^3 - 3.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 150000 \text{ m}^3/\text{d}$$

وتكون النسبة المئوية المعادة هي

$$Q_{\text{RAS}} \text{ m}^3/\text{d} = \frac{150000 \text{ m}^3/\text{d}}{200000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} \times 100 = 75\%$$

بالتأكيد سوف يختلف معدل الرجوع مع اختلاف تركيزات الحمأة الراجعة وتركيزات $MLSS$ ؛ وعادة يكون تركيز المواد الصلبة للحمأة الراجعة من حوض الترسيب ضعف تركيزها في حوض التهوية فمن المتوقع أن

$$1.543 \text{ kg/m}^3 \times 2 = 3.1 \text{ kg/m}^3 \text{ الحمأة الراجعة}$$

بالنسبة للتركيزات الواقعية والحمل العضوي الحقيقي

$$Q_{RAS} \text{ m}^3/\text{d} = \frac{Q_{infl} \times MLSS}{RAS_{MLSS} - MLSS}$$

$$Q_{RAS} \text{ m}^3/\text{d} = \frac{200000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 1.543 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{3.6 \text{ kg}/\text{m}^3 - 1.543 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = \mathbf{146952.4 \text{ m}^3/\text{d}}$$

وتكون النسبة المئوية المعادة هي

$$Q_{RAS} \text{ m}^3/\text{d} = \frac{192895 \text{ m}^3/\text{d}}{200000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} \times 100 = \mathbf{73.5 \%}$$

2-5-3 (د) التحكم في بطانية (غطاء) الحمأة الراجعة عن طريق بيانات إختبار الترسيب خلال 30 دقيقة

وهو يعبر عن الحجم الذي تشغله الحمأة بعد تركها تترسب لمدة 30 دقيقة .

البيانات المطلوب هي

معدل التدفق الداخل للمحطة $Q = 200000 \text{ m}^3$

حجم الحمأة المرسب بعد 30 دقيقة $SV = 428 \text{ ml/L}$

يمكن حساب معدل تدفق الحمأة الراجعة بناء على اختبار الترسيب من المعادلة التالية

$$Q_{RAS} \text{ m}^3/\text{d} = \frac{SV}{1000\text{ml/L} - SV} \times 100$$

$$Q_{RAS} \text{ m}^3/\text{d} = \frac{428 \text{ ml/L}}{1000\text{ml/L} - 430 \text{ ml/L}} \times 100 = \mathbf{75\% \text{ influent flow rate}}$$

وبالتالي فإن معدل تدفق الحمأة المعادة يساوي

$$Q_{RAS} = 75\% \times 200000 = \mathbf{150000 \text{ m}^3/\text{d}}$$

$$Q = 200000 \text{ m}^3$$

يمكن رسم علاقة بيانية بين الحجم المترسب بعد 30 دقيقة و R/Q أو النسبة المئوية للحمأة المعادة من الداخل للمحطة على المحور السيني واصادي على التوالي ثم قراءة R/Q من المحور الرأسي ولحساب QRAS يتم ضرب $R/Q \times Q$ ومن المنحي نوجد هذه العلاقة

$$R/Q = \frac{SV}{1000-SV} \times 100$$

طريقة حساب معدل الحمأة الراجعة طبقا للترسيب غير دقيقة واقل في الدقة من طريقة ائزان المواد الصلبة او ائزان الكتلة وذلك لأن طريقة الترسيب هي محاكاة غير مطابقة تماما لحوض الترسيب إلا انه يمكن تقليب المخلوط المراد ترسيبه بسرعة 1-2 مرة / دقيقة للتقليل من الخطأ .

3-5-2 (هـ) تقدير معدل رجوع الحمأة عن طريق معرفة تركيز الخليط المتخمر **determination of QRAS using MLSS concentration**

يتم رجوع الحمأة من اسفل حوض الترسيب الثانوي الى حوض التهوية حتى تتمكن الكائنات الحية الدقيقة التي تمثل معظم مكونات الحمأة من التغذية على المواد الغذائية والمغذيات (المواد العضوية والمغذيات التي تدخل مع مياه الصرف الخام) واذا لم يتم رجوع الحمأة فإن سمك غطاء الحمأة أو بطانية الحمأة في حوض الترسيب يزداد سمكها حتى تفيض من فوق هدار الحوض مما يؤدي لرفع نسبة المواد الصلبة العالقة في المنتج النهائي وانسداد الفلاتر اذا كانت المعالجة ثلاثية والنتيجة منتج ضعيف الجودة كما سيتناقص تركيز الخليط المتخمر في حوض التهوية MLSS وبالتالي تقل اعداد الكائنات الحية وبالتالي تزيد نسبة الغذاء او المواد العضوية لعدم وجود كائنات حية كافية للتغذية عليها وتصبح ايضا البيئة في حوض الترسيب لاهوائية مناسبة لنمو البكتريا المسؤولة عن نزع النترتة مما يؤدي لتصاعد غاز النيتروجين حاملا معه كتل الحمأة على سطح الحوض وسيكون المنتج النائي سئ وتفشل عملية المعالجة اجمالا .

$$\% \text{ QRAS} = \frac{MLSS \frac{mg}{l} \times 100}{\frac{2000000}{SVI} + MLSS \frac{mg}{l}}$$

ثم نضرب النسبة المئوية في متوسط معدل التدفق اليومي للحصول على معدل رجوع الحمأة

فمثلا لو كان معدل التدفق للمحطة هو 200000 م³/يوم وتركيز MLSS=3600 mg/l في حوض التهوية وكان مؤشر حجم الحمأة هو SVI= 120

$$\% \text{ QRAS} = \frac{3600 \frac{mg}{l} \times 100}{\frac{2000000}{120} + 3600 \frac{mg}{l}} = \frac{3600 \frac{mg}{l} \times 100}{5267} = \mathbf{68.4\%}$$

$$\text{QRAS } 68.40\% \times 200000 = \mathbf{172800 \text{ m}^3/\text{d}}$$

لاحظ ان النسبة المئوية لمعدل رجوع الحمأة يتراوح من 75% الى 150% وأكثر وقد يصل الى 200% حسب نوع عملية المعالجة وجودة المياه المطلوبة للمنتج النهائي وظروف التشغيل والعوامل التي قد تطرأ على العملية التشغيلية وخواص المياه الخام علما أن التصميم القياسي للمحطة تم على معدل رجوع قدره 75% من معدل التدفق الوارد للمحطة .

حجم الحمأة التي يجب تخريجها يتم إما في ضوء الحفاظ على تركيز ثابت من MLSS أو في ضوء فترة زمنية مرغوب فيها للخلية الحية MCRT .

*أولا في ضوء الحفاظ على تركيز MLSS

إذا تم بطريقة الحفاظ على تركيز ثابت من MLSS يجب مراعاة ان تركيز MLSS المرغوب فيه يحافظ على نسبة مرغوب فيها من F/M وهذه الطريقة هي الأكثر شيوعا في الإستخدام للتحكم في عملية الحمأة النشطة

ويتم حساب الحمأة الزائدة بناء على تركيز MLSS ويفرض أن التركيز الحقيقي في النظام = MLSS

$$4000 \text{ mg/L} \text{ والتركيز المرغوب فيه هو } MLSS = 3600 \text{ mg/L} \text{ وكان تركيز الحمأة الرجعة } WAS_{MLSS} = 9200 \text{ mg/L}$$

$$\text{Waste sludge m}^3/\text{d} = \frac{\frac{1000 \times (\text{actual MLSS} - \text{desired MLSS}) \text{ kg}}{\text{m}^3}}{\frac{2000000}{\text{WASs concentration kg/m}^3} \times \frac{1000}{2000000}} \times \text{Aeration volume m}^3$$

$$\text{Waste sludge m}^3/\text{d} = \frac{\frac{1000 \times (4 - 3.6) \text{ kg/m}^3}{2000000} \times 191126 \text{ m}^3}{9.2 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1000}{2000000}}$$

$$\text{Waste sludge m}^3/\text{d} = \frac{956}{0.046} = \mathbf{8302 \text{ m}^3/\text{d}}$$

وبمجرد حساب حجم الحمأة التي يجب تخريجها يتم حساب معدل تدفق الحمأة الزائدة التي يجب تخريجها في اليوم ؛ لاحظ ان معدل تدفق الحمأة الزائدة الحقيقي بالتر المكعب في اليوم الذي يتم اخراجه يعتمد على طول الوقت أو عدد الساعات الذي يتم خلاله تخريج الحمأة .

$$Q_{\text{WAS}} \text{ m}^3/\text{d} = \frac{\text{wast sludge m}^3 \times 24 \frac{\text{hrs}}{\text{d}}}{\text{wasting period hrs}}$$

***ثانياً: ضوء الحفاظ على فترة زمنية مرغوب فيها للخلية الحية MCRT**

يتم أولاً حساب كمية الحمأة التي يتم تخريجها في اليوم م³/يوم من العلاقة التالية :

$$\text{WAS} = \frac{[\text{MLSS mg/L} \times (\text{Aeration Vol.} + \text{Clarifier Vol.})]}{\text{WAS}_{\text{MLSS}} [\text{desired MCRT}]} - \text{TSS out} \times \text{Q effl.}$$

وبإهمال قيمة المواد الصلبة مع المنتج النهائي

$$\text{WAS kg/d} = \frac{\left[\frac{4 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times (191126 + 48834) \text{ m}^3 \right]}{9.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times [12 \text{ d}]}$$

$$\text{WAS kg/d} = \mathbf{8695 \text{ m}^3/\text{d}}$$

2-5-3 (و) تقدير معدل تدفق رجوع الحمأة بأسلوب جودة الحمأة The sludge quality approach

يتم رسم علاقة بين زمن الترسيب وتركيز الحمأة المترسبة ؛ يوجد ثلاث حالات لترسيب الحمأة وهي الترسيب الطبيعي والترسيب السريع والترسيب البطيء ؛ اذا رسمنا العلاقة سنجد ان الترسيب البطيء سنجد ان وقت الترسيب المثالي قرب نقطة الانقلاب inflection point حيث يبدأ التناقص في زيادة التركيز أما بالنسبة للترسيب الطبيعي والسريع يكون الوقت المثالي قبل التحول في المنحني (منطقة الركبة في المنحني) .
يكون الترسيب سريع اذا كان الزمن 15-30 دقيقة وطبيعي من 40-60 دقيقة وبطيء 100-140 دقيقة والمعادلات التالية تستخدم لإنشاء منحنيات تركيزات الحمأة المترسبة وتستخدم في حساب تركيز الحمأة المترسبة المثالي :

$$\text{Settled Sludge Concentration (SSC)} = \text{Aeration Tank Concentration (MLSS)} \times \frac{1000 \frac{ml}{L}}{SSV}$$

مثال ؛ احسب تركيز الحمأة المترسبة المثالي SSC من منحني الترسيب اليومي اذا كان زمن الترسيب 40 دقيقة وكان حجم الحمأة المترسب (Settled Sludge Volume (SSV) في نهاية 40 دقيقة هو 430 ml/L وكان تركيز حوض التهوية (تركيز MLSS) $ATC = 3600 \text{ mg/L}$ وتركيز الحمأة الراجعة RSC = 8400 mg/L

$$\text{Settled Sludge Concentration (SSC)} = 3600 \times \frac{1000 \frac{ml}{L}}{428} = \mathbf{8411 \text{ mg/L}}$$

وهو يساوي تماما للتركيز التصميمي للحمأة الراجعة RSC = 8400 mg/L

أما إذا كان التركيز الحقيقي للحمأة الراجعة أعلى من التركيز التصميمي 8400 mg/L فإنه يجب تقليل معدل الرجوع أو زيادة معدل التخريج WAS لكي نتمكن من تقليل تركيز الحمأة الراجعة لتصل الى التركيز المثالي .

توجد ملاحظات مهمة يجب الإنتباه لها في عملية التحكم في معدل رجوع الحمأة هي :

* يجب الحفاظ على التوزيع المثالي للمواد الصلبة بين حوض الترسيب وحوض التهوية وذلك بإطالة زمن مكث المواد الصلبة في حوض التهوية وسرعة اعادة الحمأة الراجعة من حوض الترسيب لحوض التهوية لتجنب توفير ظروف لاهوائية في حوض الترسيب والوصول لتركيز مثالي للحمأة الراجعة

* مقارنة معدل الرجوع الحالي مع معدل الرجوع المناسب للعملية

* اختيار طريقة تحكم مناسبة (نسبة مئوية من الداخل ثابتة أو معدل رجوع ثابت للحمأة)

* مراقبة سمك غطاء الحمأة

* يجب تغيير معدل رجوع الحمأة عندما يتغير معدل التدفق اليومي للمحطة أو يتغير خواص الترسيب للحمأة

* يجب ان يكون التغير في معدل رجوع الحمأة في حدود $\pm 15\%$ / يوم

* النظام الذي يستجيب للتغير في معدل تدفق الحمأة الراجعة يكون سريع وعادة يستجيب النظام في وقت يقدر بنصف زمن مكث حوض التهوية

3-5-3 التحكم في تخريج الحمأة الزائدة Waste Activated Sludge Control

يتم التحكم في عملية المعالجة بالحمأة النشطة أساسا عن طريق التحكم في كمية الحمأة الزائدة التي يتم إخراجها من النظام WAS

تؤثر كمية الحمأة الزائدة التي يتم إخراجها من النظام على كل من

- جودة المنتج النهائي
- معدل نمو الكائنات الحية المستخدمة في عملية المعالجة
- معدل استهلاك الاكسجين
- جودة عملية الترسيب للخليط امتمخر المعلق MLSS
- كمية المغذيات اللازمة للعملية

- حدوث رغوة أو روية
- إمكانية حدوث النترية

الهدف من عملية تخريج الحمأة هو الحفاظ على التوازن بين كمية الغذاء الى الكائنات الحية الموجودة بالعملية .

من المعلوم أنه عندما تقوم الكائنات الحية باستهلاك BOD من مياه الصرف فإن كمية الحمأة النشطة (تنمو الكائنات الحية وتتكاثر) والمعدل الذي تنمو به هذه الكائنات الحية هو الزيادة في كمية الحمأة النشطة التي تحدث في اليوم الواحد وبالتالي فإن الغرض من تخريج الحمأة هو التخلص من كمية الحمأة التي تضاف في اليوم وتكون زائدة عن حاجة العملية وحينما يتم ذلك فإن كمية الحمأة التي يتم تكوينها من النشاط الحيوي للبكتريا ونموها تكون متزنة مع الكمية التي يتم التخلص منها مما يجعل كمية الحمأة الموجودة بالنظام الى حد ما ثابتة وهذه الحالة تسمى حالة الإتزان (steady state) وهذه الحالة تقريبا بسبب طبيعة وكمية الغذاء BOD وتعداد الكائنات الحية بالعملية وبالتالي لكي يتم التحكم في عملية الحمأة النشطة بصورة جيدة لابد من الوصول لحالة الإتزان وذلك بالتحكم في واحد أو أكثر من هذه العوامل :

- متوسط زمن مكث الخلية MCRT
- نسبة الغذاء للكائنات الحية F/M
- عمر الحمأة الذهبي (G.S.A(Gould sludge age
- مخزون المواد الصلبة الطيارة (VSS (Volatile solid inventory
- تركيز المواد الصلبة العالقة الطيارة MLVSS concentration
- التحكم في جودة الحمأة Sludge quality control

يتم التخلص من الحمأة الزائدة وذلك بالتخلص من جزء من الحمأة الراجعة RAS ثم تضخ الى المكثفات ثم الى الهواضم أو وحدات نزع المياه وقد يتم ضخها الى احواض الترسيب الابتدائية ثم الى الهواضم الحمأة الخام .

الطريقة الثانية للتخلص من الحمأة الزائدة يتم بالتخلص من جزء من MLSS من احواض التهوية ؛ الا ان التخلص من جزء من الحمأة المعادة عملي اكثر لأن الحمأة تكون ذات تركيز عالي ونحتاج للتخلص من جزء اصغر بكثير من كما ان معظم المحطات لا تكون مجهزة للتخلص من الحمأة الزائدة عن طريق احواض التهوية MLSS .

3-5-3 (أ) طرق تخريج الحمأة الزائدة Methods of sludge wasting

اذا تم التخلص من الحمأة الزائدة عن طريق التخلص من جزء من الحمأة الراجعة يجب ان يقوم المشغل بقياس تركيز المواد الصلبة العالقة المتطايرة في الحمأة الراجعة RAS فإذا كان التركيز يتناقص فإن معدل تدفق الحمأة الزائدة WAS يجب ان يزيد لتخريج كمية مناسبة من VSS اما اذا كان هناك زيادة في تركيز المواد الصلبة المتطايرة للحمأة الراجعة فإن معدل تدفق الحمأة الزائدة WAS يجب ان يقل بدرجة مناسبة .

اذا كان المشغل يستخدم طريقة متواصلة للتخلص من الحمأة الزائدة فإن عليه ان يختبر تركيز RASs مرة كل ودية على الأقل لمعرفة الكمية المناسبة من QWAS .

مثال توضيحي ؛ البيانات المطلوبة :

$$1- \text{معدل تدفق الحمأة الزائدة الحالي } Q_{WAS} = 6766 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$2- \text{تركيز المواد الصلبة العالقة الطيارة في اليوم الأول (أفضل يوم تشغيلي) } RAS_{VSS1} = 6300 \text{ mg/l}$$

$$3- \text{تركيز المواد الصلبة العالقة الطيارة في اليوم الثاني } RAS_{VSS2} = 8500 \text{ mg/l}$$

يتم تقدير معدل تدفق الحمأة الزائدة WAS طبقا لزيادة تركيز RAS_{vss} من 6300 ملجم/ل الى 8500 ملجم/ل كالتالي :

$$Q_{WAS \text{ adjusted}} = \frac{RAS_{VSS1}}{RAS_{VSS2}} \times Q_{WAS} = \frac{6300}{8500} \times 6766 = 5015 \text{ m}^3/\text{d}$$

اذا كان المشغل يستخدم طريقة متقطعة للتخلص من الحمأة الزائدة فعليه ان يختبر RAS_{vss} لحساب معدل التدفق الضروري للعملية Q_{WAS} .

مثال توضيحي ؛ البيانات المطلوبة :

1- معدل تدفق الحمأة الزائدة من المعادلة السابقة $Q_{WAS} \text{ m}^3/\text{d} = 6766 \text{ m}^3/\text{d}$

2- عدد ساعات التخريج الذي يتم اختياره في اليوم $p_1, \text{ hrs}/\text{day} = 4$

يتم تقدير معدل تدفق WAS لعدد ساعات التخريج المختار كالتالي

$$Q_{WAS} \text{ m}^3 @ 4\text{hrs} = \frac{24\text{hrs}/\text{day}}{P_1 \text{ hrs}/\text{day}} \times Q_{WAS} \text{ adjusted}$$

$$Q_{WAS} = \frac{24}{4} \times 6766 \text{ m}^3 @ 4\text{hrs} = 40596 \text{ m}^3/\text{d} @ 4\text{hrs}$$

يجب ان يعيد المشغل حساب تخريج الحمأة لكل فترة تخريج لكي يأخذ في الإعتبار التغيير الحاصل في RAS_{vss} كما يراعى توزيع التخريج على مضخات الحمأة الزائدة

تتميز طريقة التخريج المتقطع بأنها تحدث تغيير طفيف في تركيز المواد الصلبة العالقة اثناء فترة تخريج الحمأة كما ان كمية الحمأة التي يجب التخلص منها تكون معروفة بدقة أكثر الا ان عيب هذه الطريقة يظهر اذا كان معدل الحمل الهيدروليكي مرتفع لا تتحملة مرافئ المحطة وتكون عملية الحمأة النشطة خارج الإلتزان لفترة زمنية حتى يتم نمو كائنات حية لكي تحل محل الكائنات التي يتم التخلص منها مع الحمأة الزائدة في فترة زمنية قصيرة .

وبالرغم من ذلك ايا كانت الطريقة المستخدمة في التخلص من الحمأة الزائدة سواء متقطعة أو متواصلة لا يمكن التحكم بشكل كامل في كمية الحمأة الزائدة بسبب كمية الحمأة التي تخرج مع المياه المروقة مما يجعل العملية بدرجة أو أخرى خارج عملية الإلتزان التام أو الكامل ويمثل كمية الحمأة التي تخرج مع المياه المنتجة في هذه المرحلة (المعالجة الثنائية) أقل من 5% من كمية الحمأة المستهدف التخلص منها

يؤدي التحكم في تخريج الحمأة الزائدة بطريقة مناسبة الى منتج جيد جدا ؛ ويوجد خمس تقنيات يمكن استخدامها للتحكم في الحمأة الزائدة WAS وهي :

- التحكم في ثبات تركيز المواد الصلبة العالقة الطيارة MLVSS
- التحكم في عمر الحمأة الذهبية GSA
- التحكم في نسبة الغذاء الى الكائنات الحية F/M
- التحكم في زمن مكث الخلية الحية MCRT
- التحكم في جودة الحمأة

3-5-3 (ب) التحكم في ثبات تركيز المواد الصلبة العالقة الطيارة MLVSS

يستخدم العديد من المشغلين هذه الطريقة لأنها سهلة ولا تحتاج الكثير من المراقبة المخبرية والإختبارات وهي تعطي منتج جيد اذا كانت مواصفات وخصائص المياه الخام ثابتة لحد ما ولا يحدث بها الكثير من التغي في معايير المياه الخام .

يتم تثبيت تركيز MLVSS في أحواض التهوية لكي يعالج الحمل العضوي للمياه الداخلة للمحطة ؛ ولكي نبسط الموضوع وجد أنه إذا كان تركيز $MLVSS = 2700 \text{ mg/l}$ فإن المياه المنتجة تكون جيدة وبالتالي فإن المشغل يجب ان يخرج حمأة للحفاظ على التركيز في هذه الحدود .

$$MLVSS = 0.75 \times MLSS = 0.75 \times 3600 = 2700 \text{ mg/l}$$

إذا زاد تركيز MLVSS عن التركيز المناسب للعملية فإن تركيز الحمأة سوف يزداد بالنظام ومن ثم يجب إخراج الحمأة الزائدة للوصول بالتركيز الى المستوى المناسب .

البيانات التشغيلية التي يحتاجها المشغل للقيام بهذه الطريقة هي :

- 1- تركيز المواد الصلبة العالقة الطيارة في احواض التهوية MLVSS
- 2- تركيز المواد الصلبة العالقة الطيارة في الحمأة الراجعة RASvss
- 3- معدل تدفق المياه الداخلة للمحطة Q_{inf} .
- 4- حجم حوض التهوية $V_{aeration}$

وسواء أكانت المحطة جديدة في بداية تشغيلها أو محطة قيد الخدمة فعليا فإن هذه التقنية للتحكم تستخدم لكي تعطينا مؤشر على وجوب تخريج الحمأة ؛ إلا انه في معظم الأحيان وبالرغم من بساطة و أهمية هذه التقنية إلا أنها تقنية غير موثوق بها تماما لأنها تهمل متغيرات مهمة مثل نسبة الغذاء الى الكائنات الحية F/M ومعدل نمو الكائنات الحية الدقيقة للحفاظ على أفضل نظام لإتزان عملية المعالجة وبالتالي إذا حدث مشكلة في التشغيل فإن المشغل لا يكون قادر على عمل تعديل مناسب في عملية التشغيل بسبب نقص البيانات التشغيلية اللازمة للتحكم في العملية .

يتم التحكم في عملية التشغيل باستخدام هذه التقنية وذلك بإختيار تركيز MLVSS الذي ينتج عنه أفضل منتج نهائي بحيث تكون عملية المعالجة مستقرة مع أقل تكلفة ممكنة .

يتم تقدير معدل تخريج الحمأة الزائدة في هذه الحالة كالتالي :

البيانات المطلوبة :

*مخزون المواد الصلبة المرغوب فيه في أحواض التهوية

*مخزون المواد الصلبة الحالي في حوض التهوية

يتم حساب حجم الحمأة اللازم تخريجها للحفاظ على التركيز المرغوب فيه من MLVSS من المعادلة التالية :

$$Q_{WAS} \text{ m}^3/\text{d} = \frac{SI_2 - SI_1}{RAS_{VSS}}$$

إذا كان تركيز المواد الصلبة في حوض التهوية المرغوب فيه هو 1.543 kg/m^3 و تركيز الحمأة الراجعة

3.6 kg/m^3 وسيكون مخزون المواد الصلبة بحوض التهوية :

$$SI_1 = 191126 \times 1.543 \text{ kg/m}^3 = 294907.4 \text{ kg}$$

وبفرض أن تركيز المواد الصلبة بحوض التهوية يرتفع إلى 1.7 kg/m^3 مخزون المواد الصلبة بحوض التهوية :

$$Sl_2 = 191126 \times 1.7 \text{ kg/m}^3 = 324914.2 \text{ kg}$$

$$Q_{WAS} = \frac{707166.2 \text{ kg} - 294907.4 \text{ kg}}{3.6 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 8335 \text{ m}^3/\text{d}$$

3-5-4 التحكم في نسبة الغذاء الى الكائنات الحية Constant Food to Microorganisms F/M Ratio

يتم التحكم في نسبة F/M في عملية الحمأة النشطة بحيث يتم استهلاك كل الحمل العضوي (أو على الأقل معظمه) للمياه الخام الذي يتم تزويد المحطة بها بواسطة الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في الخليط المتخمر للمواد الصلبة العالقة الطيارة MLVSS في أحواض التهوية.

إذا كانت نسبة الغذاء أكثر بكثير أو أقل بكثير عن حاجة الكائنات الحية فإنه من المؤكد أن يقل نشاط وتكاثر الكائنات الحية ومن ثم حدوث مشاكل تؤثر على جودة المنتج النهائي .

طبقا لحسابات تصميم المحطة تم تصميم الأحواض لتوفير نسبة هي $F/M = 0.119$ للتشغيل المثالي مع العلم أنه في أنظمة التهوية المطولة مثل نظام الكاروسيل تكون النسبة $0.05 - 0.15 \text{ kg vss / kg BOD}$ يوجد أربعة أشياء مهمة يجب أن نتذكرها دائما بخصوص نسبة F/M هي :

- 1- أن تركيز الغذاء يتم تقديره عن طريق حساب كمية أي من COD أو BOD وهذا يعطينا التركيزات الحقيقية تقريبا التي تعبر عن تركيز الغذاء التقريبي فعليا والذي يتم إستهلاكه أو إزالته بواسطة الكائنات الحية
- 2- كمية الغذاء التي تحتوي عليها مياه الصرف الخام هامة جدا لحساب نسبة F/M

3- كمية الكائنات الحية يتم التعبير عنها بالخيط المتخمر للمواد الصلبة العالقة الطيارة MLVSS وهو تركيز تقريبي موثوق به لحد كبير حيث أثبتت الدراسات التي أجريت عليه أنه صحيح وأقرب الى العد الخلوي للكائنات الحية مخبريا (لاحظ أن عملية عد وتقدير هذا الكم الهائل من الكائنات الحية في أحواض التهوية يكون عملية مرهقة ومعقدة في كل مرة وبالتالي لجأ خبراء المعالجة لإيجاد وسيلة لتقدير كمية الكائنات الحية وعندما أجريت الدراسات أثبتت أن مفهوم MLVSS للتعبير عن الكائنات الحية دقيق وأقرب للعد الخلوي الحقيقي في المختبر).

1-البيانات المحسوبة لنسبة F/M تبنى على متوسط 5 أيام .
البيانات المطلوبة :

2-تركيز الأوكسيجين الحيوي الممتص أو الكيميائي المستهلك

3-معدل التدفق اليومي للمحطة

4-مخزون المواد الصلبة العالقة الطيارة في أحواض التهوية

5-معدل التدفق اليومي للمحطة أو منتج أحواض الترسيب الابتدائي

6-حجم حوض التهوية أو الأحواض قيد الخدمة

7-تركيز المواد الصلبة العالقة المتطايرة في أحواض التهوية

(لاحظ أن مخزون المواد الصلبة العالقة الطيارة بأحواض التهوية يتم حسابه من تركيز MLVSS بالكيلو

جرام مضروبا في حجم حوض التهوية بالمتر المكعب V).

يتم تقدير نسبة F/M كالتالي :

$$F/M = \frac{(BOD \text{ or } COD \frac{kg}{m^3})(Qinf m^3)}{SI kg}$$

في حالة استخدام BOD يتم الحساب طبقا لمخزون MLVSS بينما في حالة استخدام COD يتم الحساب

طبقا لمخزون MLSS

$$F/M = \frac{\left(\text{BOD} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) (Q_{\text{inf}} \text{ m}^3)}{\text{aeration volumem}^3 * \text{MLVSS kg}}$$

$$F/M = \frac{\left(\text{COD} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) (Q_{\text{inf}} \text{ m}^3)}{\text{aeration volumem}^3 * \text{MLSS kg}}$$

وفي حالة مياه الصرف الصحي المختلطة مع مياه صرف صناعي يمكن استخدام المعادلة التالية :

$$F/M = \frac{\frac{\left(\text{COD} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{\text{ratio of COD}} * (Q_{\text{inf}} \text{ m}^3)}{\text{aeration volumem}^3 * \text{MLSS} * 0.72 \text{ kg}}$$

3-5-5 التحكم في ثبات متوسط زمن مكث الخلية (MCRT) Control

تعد هذه الوسيلة أهم وأفضل الوسائل التي يمكن للمشغل استخدامها لأنها تمكن المشغل من التحكم في الحمل العضوي المتمثل في نسبة F/M كما يكون قادر على حساب كمية الحمأة التي يجب تخريجها من النظام WAST بطريقة موثوقة تعتمد على خبرته .

يمكن تعريف MCRT أنها متوسط الزمن التي تقضيه الحمأة النشطة في النظام كله (ليس فقط حوض التهوية كما في عمر الحمأة) ؛ يتم إختيار MCRT التي عندها تكون المياه المنتجة هي الأفضل من ناحية معايير المياه المعالجة وايضا الترسيب وباقي مراحل المعالجة على أن تتناظر هذه القيمة حمل F/M التي تم تصميم الأحواض عليها بمعنى على سبيل المثال لو فرضنا ان العملية التي تم تصميمها هي عملية معالجة بطريقة الحمأة النشطة التقليدية Conventional activated sludge يمكن ألا تعطي منتج نهائي ذو جودة عالية إذا تم تشغيلها عند MCRT منخفضة لأنه من المحتمل أن تكون نسبة F/M التي تم تصميم

العملية عليها مرتفع ؛ لذلك يجب على المشغل إيجاد أفضل MCRT للعملية بإرجاعها إلى نسبة F/M التي تم تصميم المحطة عليها وأيضا كل من BOD , COD , TSS .

تحدد أيضا MCRT أنواع الكائنات الحية التي سوف تسود في عملية المعالجة بالحمأة النشطة لأنها سوف تؤثر بشكل مباشر على درجة النترية التي يمكن أن تحدث بالعملية .

المحطات التي يتم تشغيلها عند فترات MCRT طويلة (15-20) يوم يتم بها عمليات نترته بينما التي يتم تشغيلها لفترة (5-10) يوم يمكن ألا يحدث بها نترته مالم تكن درجة الحرارة مرتفعة حيث تؤثر درجة الحرارة على سرعة حدوث نترته ؛ الجدول التالي يوضح فترات MCRT التي تمكن من حدوث نترته عند درجات حرارة مختلفة .

تم تصميم عمر الحمأة في محطة ينبع طبقا لمتوسط درجة حرارة 27 درجة مئوية وأعلى درجة حرارة للمياه 32 درجة مئوية

MCRT days	درجة الحرارة C ⁰
30	10
20	15
15	20
10	25
7	30

يمكن تقدير قيمة MCRT ومعدل تدفق الحمأة الزائدة WAS كالتالي :

$$MCRT, \text{ day} = \frac{[MLSS \text{ mg/L} \times (\text{Aeration Vol.} + \text{Clarifier Vol.})]}{[(WAS, \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times (\text{WAS flow}) + (\text{TSS out} \times \text{flow out})]}$$

$$MCRT, \text{ days} = \frac{SI}{[(RASs)(QWAS) + (\text{efflvss})(Q)]}$$

البيانات المطلوبة :

1- مخزون المواد الصلبة في حوض التهوية

2- تركيز المواد الصلبة العالقة الطيارة في الحمأة الراجعة

3- معدل تدفق الحمأة الزائدة (بفرض النسبة المحسوبة من الحمأة الراجعة RAS)

4- تركيز المواد الصلبة العالقة الطيارة في المنتج النهائي

5- معدل التدفق الداخل

6- زمن مكث الخلية بالنظام المرغوب فيه

7- تركيز

8- حجم حوض التهوية

$$\text{MCRT days} = \frac{\text{SI}}{[(\text{RAS}_{\text{SS}})(\text{QWAS}) + (\text{effl}_{\text{VSS}})(\text{Q})]}$$

ثم يتم تقدير معدل تدفق الحمأة الزائدة للحفاظ على MCRT

$$\text{QWAS m}^3/\text{d} = \frac{\text{SI}}{(\text{MCRT desired})(\text{RAS}_{\text{VSS}})}$$

لإستخدام MCRT في التحكم في عملية الحمأة النشطة

$$\text{Mean Cell Residence Time, day} = \frac{[\text{MLSS mg/L} \times (\text{Aeration Vol.} + \text{Clarifier Vol.})]}{[(\text{WAS, } \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times (\text{WAS flow}) + (\text{TSS out} \times \text{flow out})]}$$

يتم تحديد افضل قيمة MCRT بمقارنتها بجودة المنتج النهائي لنفس اليوم وعند الحصول على افضل منتج

نهائي يمكن تقدير كمية الحمأة بالكيلو جرام التي يجب تخريجها كالتالي :

$$\text{WAS kg/d} = \frac{[\text{MLSS mg/L} \times (\text{Aeration Vol.} + \text{Clarifier Vol.})]}{[\text{desired MCRT}]} - \text{TSS out} \times \text{Q effl.}$$

ثم نحسب معدل تدفق الحمأة الزائدة QWAS بالمتر المكعب في اليوم لنفس البيانات السابقة كالتالي :

$$QWAS \text{ m}^3/\text{d} = \frac{\text{waste kg/d}}{\text{WAS concentration mg/l}}$$

$$\text{Mean Cell Residence Time, day} = \frac{[\text{MLSS mg/L} \times (\text{Aeration Vol.} + \text{Clarifier Vol.})]}{[(\text{WAS, } \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times (\text{WAS flow})) + (\text{TSS out} \times \text{flow out})]}$$

أو يمكن كتابة المعادلة كالتالي :

$$\text{MCRT days} = \frac{\text{SI}}{[(\text{RASss})(QWAS) + (\text{efflvss})(Q)]}$$

حيث SI هو مخزون الحمأة في أحواض التهوية solids inventory

يمكن استخدام زمن مكث الخلية في التحكم في عملية الحمأة النشطة للمحطة حيث يتم تحديد افضل قيمة MCRT بمقارنتها بجودة المنتج النهائي لنفس اليوم وعند الحصول على افضل منتج نهائي يمكن تقدير كمية الحمأة بالكيلو جرام التي يجب تخريجها كالتالي :

$$\text{WAS kg/d} = \frac{[\text{MLSS mg/L} \times (\text{Aeration Vol.} + \text{Clarifier Vol.})]}{[\text{desired MCRT}]} - \text{TSS out} \times Q \text{ effl.}$$

ثم نحسب معدل تدفق الحمأة الزائدة QWAS بالتر المكعب في اليوم لنفس البيانات السابقة كالتالي :

$$QWAS \text{ m}^3/\text{d} = \frac{\text{waste kg/d}}{\text{WAS concentration mg/l}}$$

3-5-6 التحكم في جودة الحمأة sludge quality control

يمكن استخدام تقنية التحكم في جودة الحمأة بشكل مفرد أو إقرانها مع تقنيات التحكم الأخرى التي شرحناها آنفا وهذا يتطلب الإختبارات التالية :

- إختبار ترسيب الحمأة في 30 دقيقة
- عمق غطاء الحمأة
- تركيز المواد الصلبة للخليط المتخمر MLSS بطريقة الطرد المركزي
- تركيز المواد الصلبة للحمأة الراجعة بطريقة الطرد المركزي

- عكارة المنتج للمعالجة الثنائية (المنتج الثانوي بعد احواض الترسيب)
- الأكسجين الذائب

• الفحص المجهرى للخليط المتخمر في احواض التهوية MLSS

• الملاحظات العينية على أحواض التهوية وأحواض الترسيب

• ثم يتم رسم البيانات على ورق رسم بياني مقابل الوقت لفترة قدرها 5 أيام من الإختبارات أو متوسطها

في 5 أيام وهو ما يعرف متوسط الحركة Moving average test

3-5-6 (أ) حجم الحمأة المترسب Settled Sludge Volume

يمكن تقدير حجم الحمأة المترسب لأي فترة زمنية إلا أن الغالب تقديره خلال 30 دقيقة SSV30 أو / و 60 دقيقة SSV60 ويمكن تقديره ملل/ل أو نسبة مئوية من الحجم الكلي

$$\text{Settled Sludge Volume (mL/L)} = \frac{\text{Settled Sludge Volume (mL)}}{\text{Sample Volume (L)}}$$

$$\text{Settled Sludge Volume \%} = \frac{\text{Settled Sludge Volume (mL)}}{\text{Sample Volume (L)}} \times 100$$

3-5-6 2 (ب) مؤشر حجم الحمأة Sludge Volume Index SVI

وهو مؤشر على جودة ترسيب الحمأة ؛ اذا كانت قيمته في تزايد مضطرد كان الترسيب بطئاً والندف غير متماسكة ويزيد تركيز المواد الصلبة العالقة في المنتج النهائي وعمر الحمأة صغير أو يوجد تكتل بالحمأة (وفي هذه الحالة يجب تقليل التخريج WAS وزيادة معدل الحمأة الراجعة RAS) ؛ وكلما كان في تناقص تكون الندف أو الحمأة أكثر كثافة والترسيب يكون سريعاً وعمر الحمأة كبير (وفي هذه الحالة يجب زيادة معدل التخريج WAS وخفض معدل الحمأة الراجعة RAS) أما اذا كانت ثابتة تقريبا فهي الحالة الطبيعية ولا يتم اتخاذ اي اجراء .

$$\text{Sludge Volume Index (SVI)} = \frac{\text{SSV (mL/L)} \times 1000}{\text{MLSS mg/l}}$$

3-6 إنتاج المواد الصلبة العضوية وحسابات الضخ

Biosolids production and pumping calculations

3-6-1 Estimating Daily Sludge Production تقييم كمية الحمأة المنتجة في اليوم

يتم حساب معدل تصريف المضخة كالتالي :

$$\text{Estimated Pump rate m}^3/\text{hrs} = \frac{\text{Influent TSS Conc} - \text{Effluent TSS Conc}}{\% \text{ Solids in Sludge}}$$

3-6-2 pump operating time زمن تشغيل المضخة

كمية الحمأة المتوقع إنتاجها في اليوم حيث أن إنتاجية الحمأة في اليوم هي

$$\text{Sludge production kg DS/d} = 76145 \text{ kg DS/d}$$

وعند تركيز حمأة راجعة 8400 mg/L تكون إنتاجية الحمأة بالمتر المكعب

$$\text{WAS flow} = \frac{76145 \text{ kg DS/d}}{8.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1.020 \text{ kg/m}^3} = 8887 \text{ m}^3/\text{d}$$

ويوجد 4 مضخات للحمأة الزائدة سعة المضخة 150 m³/hr بالخدمة و 2 احتياطي ؛ نصيب كل مضخة

2222 m³ /d ويلزم تشغيل كل مضخة من مضخات الخدمة **14.8 hr** يوميا .

التصرف الكلي للمضخات الثلاثة: 600 m³/hr = 4 x 150 m³/hr

$$\text{عدد ساعات تشغيل المضخات} = 8887 \text{ m}^3/\text{d} / 150 \text{ m}^3/\text{hr} = 14.8 \text{ hr}$$

يتم تقسيم زمن تشغيل المضخات على مدار اليوم بحيث يتم توزيع عدد ساعات التشغيل على الورديات الثلاثة

:

عدد ساعات تشغيل المضخات لكل وردية :

14.8 hr/3 shieft = 4.94 hr/shieft=296 minutes/ pump/shieft

يمكن حساب نسبة المواد الصلبة المتطايرة في الحمأة المنتجة كالتالي :

كمية الحمأة المنتجة بالكيلوجرام هي تساوي عدد الأمتار المكعبة المنتجة لأن الفرق في الكثافة بين الماء والحمأة المنتجة بسيط يمكن اهماله حيث يكون (كثافة الحمأة 1020 g/L) وزن الحمأة في المتر المكعب 1020 كجم/م³ ؛ فإذا كانت كمية الحمأة المنتجة بالمتر المكعب هي 8845 m³/d يكون وزنها كجم :

$$= 8887 \text{ m}^3 /d \times 1020 \text{ kg/m}^3 = \mathbf{9064740 \text{ kg/d}}$$
 Total Sludge Production (kg)

يمكن حساب انتاج الحمأة بالطن المتري

$$\text{Sludge (kg/1000 m}^3) = \frac{\text{Total Sludge Production (kg)}}{\frac{\text{Total Wastewater Flow}}{1000 \text{ m}^3}}$$

$$\text{Sludge (kg/1000 m}^3) = \frac{9064740 \frac{\text{kg}}{\text{d}} \times 1000}{200000 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} = \mathbf{45324 \text{ (kg/1000 m}^3)}$$

3-6-3 انتاج الحمأة بالطن المتري في السنة Sludge Production in Wet Tons per Year

يمكن التعبير عن الحمأة المنتجة في صيغة كمية الحمأة (مياه + مواد صلبة) أو مايسمى wet tons وهي عادة تستخدم لحسابها في العام .

$$\text{Sludge (wet tons/yr)} = \frac{\text{Sludge Produced} \left(\frac{\text{kg}}{1000 \text{ m}^3} \right) \times \text{Avg. Daily Flow (m}^3/\text{d)} \times 365 \text{ days/yr}}{\frac{1000 \text{ kg}}{\text{ton}}}$$

$$\text{Sludge (wet tons/yr)} = \frac{45324 \text{ (kg/1000 m}^3) \times 200000 \times 365 \text{ days/yr}}{1000 \text{ kg/ton}}$$

$$\text{Sludge (wet tons/yr)} = \mathbf{3292993.5 \text{ (wet tons/yr)}}$$

تزيل عملية المعالجة المواد الصلبة و BOD من مياه الصرف قبل صرف المياه المعالجة على المجاري المائية والباقي يسمى حمأة sludge أو مواد صلبة عضوية ؛ يطلق اسم الحمأة على المواد الصلبة المتبقية من عملية المعالجة وإذا تم استخدام هذه المواد الصلبة في اعمال اخرى مثل السماد الطبيعي تسمى مواد صلبة عضوية ؛ مصطلح مواد صلبة solids يطلق على المواد الصلبة فقط اما مصطلح المواد الصلبة العضوية Biosolids يطلق على المواد الصلبة + الماء .

تمثل المواد الصلبة العضوية 2% من حجم مياه الصرف المعالجة وحتوي المواد الصلبة العضوية على 97% مياه مما يجعل من الصعب التعامل معها والتخلص منها بطريقة آمنة لذلك يجب معالجتها لتقليل المحتوى المائي لها ويتم ذلك بطرق عدة .

3-7 دفن وإستخدام الحمأة في الزراعة

3-7-1 النيتروجين المتاح Plant Available Nitrogen (PAN)

من العوامل التي تأخذ في الإعتبار عند دفن الحمأة في المكامر أو أماكن الدفن هو نسبة النيتروجين المتواجد بها وتشمل نيتروجين - الأمونيا والنيتروجين العضوي ؛ يجب تحويل النيتروجين العضوي الى نيتروجين غير عضوي او معدني mineralized وفي الواقع لا يتم تحويل سوى جزء منه سنويا .

عامل التمعدن $f1 = 0.2$ mineralization factor ؛ كمية الأمونيا المتاحة ترجع مباشرة الى الوقت المطبق بين plowing وعملية الدفن للحمأة و يتم حسابها كالتالي :

$$PAN (kg/dry ton) = \left[\text{Organic Nitrogen} \left(\frac{mg}{kg} \right) \times f1 + \text{Ammonia Nitrogen} \left(\frac{mg}{kg} \right) \times V1 \right] \times 0.0044 \frac{kg}{dry ton}$$

حيث :

معدل تمعدن النيتروجين العضوي $f1 = 0.20$

معدل تطاير نيتروجين الأمونيا $V1 = 1.00$ لو تم حقن الحمأة injected

معدل تطاير نيتروجين الأمونيا $V1 = 0.85$ لو تم plowed الحماة خلال 24 ساعة

معدل تطاير نيتروجين الأمونيا $V1 = 0.70$ لو تم plowed الحماة خلال 7 أيام

مثال : اذا كانت الحماة تحتوي على 21000 ملجم/ كلجم من النيتروجين العضوي وتحتوي على 10500 ملجم/كلجم من نيتروجين - الأمونيا $N-NH_3$ ويجب دفن الحماة في التراب خلال 24 ساعة فما هو نيتروجين المحطة المتاح PAN لكل يوم بالطن من المواد الصلبة

$$PAN \text{ (kg/dry ton)} = \left[(21000 \left(\frac{mg}{kg}\right) \times 0.2 + 10500 \left(\frac{mg}{kg}\right) \times 0.85 \right] \times 0.0044 \frac{kg}{dry} ton = 57$$

Application Rate Based on Crop 3-7-2 النيتروجين طبقا لإحتياج المحاصيل له

Nitrogen Requirement

يتم اولا تحديد كمية النيتروجين الازم لنمو النبات ثم حساب كمية الحماة بالطن الجاف اللازمة لذلك :

$$\text{Dry tons/m}^2 = \frac{\text{Plant Nitrogen Requirement (kg/ m}^2\text{)}}{\text{Plant Available Nitrogen (kg/dry ton)}}$$

Metals Loading 3-7-3 حمل المعادن

بما ان الحماة تدفن في التربة فيجب متابعة تركيز المعادن لأنها ستؤثر على البيئة ويتم حساب حمل المعادن كالتالي :

$$\text{Loading (kg/m}^2\text{)} = \text{Metals Concentration (mg/kg)} \times 0.0044 \text{ lb/dry ton} \times \text{Application Rate (dry tons/m}^2\text{)}$$

الا يكون يكون هناك معدل لتكرار دفن الحماة في نفس المكان حتى لا تزيد نسبة تركيز المعادن في المكان ويحسب اقصى معدل يمكن تكرار دفن الحماة في نفس المكان من العلاقة

$$\text{Applications} = \frac{\text{Maximum Allowable Cumulative Load (kg/m}^2\text{)}}{\text{Metal Loading (kg/m}^2\text{/application)}}$$

ويمكن استخدام اعلى معدل تطبيق أو دفن مبني على حمل المعادن وعدد مرات الدفن لكل عام في لتقدير اقصى عمر لمكان الدفن .

$$\text{Site Life (yr.)} = \frac{\text{Maximum Allowable Applications}}{\text{Number of Applications Planned per Year}}$$



الفصل الرابع

نظام التحكم بالروائح بالأبراج الكيميائية الرطبة



Odor Control System

Wet chemical Scrubbers

مقدمة

تنتج الروائح في محطات مياه الصرف الصحي من جزيئات صغيرة خفيفة (طيارة) صغيرة الوزن الجزيئي و كارهه للوسط المائي وتحتوي على مجموعة فعالة أو أكثر ؛ كل مجموعة تحتوي على الاكسجين أو النيتروجين أو الكبريت .

يمكن تقسيم المركبات التي تسبب الروائح إلى مركبات غير عضوية مثل كبريتيد الهيدروجين H₂S والامونيا NH₃ ومركبات عضوية مثل المركبتات (وتشمل المركبتان mercptanes المرتبط بمجموعات الأميل و الأليل والبنزيل والإيثيل والميثيل) والكبريدات العضوية مثل (ثنائي مثل الكبريتيد وثنائي الإثيل ثنائي الكبريتيد والثيوكربسول والثيوفينول) والمركبات العضوية النيتروجينية مثل (البريدن واسكاتول وايدول و الأمينات الثنائية مثل الكادافرين ثنائي البيوتيل وثنائي الايزوبروبيل) والاحماض الدهنية الطيارة مثل (حامض الخليك والبريبونيك والبيوتيريك) .

من بين كل هذه المركبات يكون كبريتيد الهيدروجين هو الاكثر ازعاجا واشد رائحة ثم الامونيا ؛ يتواجد كبريتيد الهيدروجين بتركيز 23.9 µg/L في المياه الخام (الطور المائي وليس الطور الغازي في الهواء) ولأنه صغير الوزن الجزيئي ينتقل وكاره للوسط المائي ينتقل بسهولة من المياه الجو المحيط مسببا رائحة كريهة يمكن للانسان شمها عند تركيزات منخفضة جدا ؛ وتكون عتبة الرائحة لغاز كبريتيد الهيدروجين odor threshold صغيرة جدا (التركيز الذي يبدأ عنده الانسان شم رائحة الغاز) وهي H₂S odor threshold = 0.0005 ppm جزئ في المليون والامونيا NH₃=17 ppm (17 جزئ في المليون) .

قد تكون الروائح التي يشمها الانسان ناتجة من مادة كيميائية واحدة أو خليط من المواد الكيميائية ؛ وتعتبر مياه الصرف بيئة مناسبة للنشاط البيكتيري الذي ينتج عنه العديد من المركبات الكيميائية التي تسبب روائح كريهة.

تستقبل أنف الإنسان الروائح وتحدث ميكانيكية الشم عن طريق التقاء الجزئ المسبب للرائحة مع خلايا الاستقبال الموجودة في الأنف البصلة الشمية olfactory bulb الموجودة أعلى الأنف من الدخل وتحت قاعدة المخ مباشرة والتي تتصل بالذاكرة ومراكز الاحساس بالمخ

بعض الروائح يتم شمها بقوة أكثر من الروائح الأخرى عند نفس التركيز ويرتبط تركيز الرائحة بشدة الرائحة intensity وتتدرج شدة الرائحة من الضعيفة faint الى القوية strong حسب مقياس شدة الرائحة ؛ والعلاقة بين شدة الرائحة والتركيز لوغارتمية أي أن اذا زادت شدة الرائحة أو نقصت فلن يتغير التركيز بنفس التناسب فمن الممكن أن تكون شدة الرائحة قوية عند تركيز ضعيف منها وتكون الرائحة ظاهرة عند هذا المستوى المنخفض منها.

بالإضافة الى كبريتيد الهيدروجين والملوثات الأخرى مثل الأمونيا توجد العديد من مركبات الكبريتيد العضوية والنيتروجينية التي تسبب روائح كريهة ويرجع وجود هذه المركبات الى النشاط البكتيري الذي يقوم بكتسير المواد العضوية والبيئة الاهوائية ودرجة الحرارة المناسبة للنشاط البيولوجي لانتاج هذه المركبات ؛ من أهم المركبات التي تنتج من النشاط البيولوجي اللاهوائي كبريتيد الهيدروجين H₂S والامونيا NH₃ والثيول أو المركبتان mercptanes والأمينات amines والاسكاتول skatole وأثناء عملية التخمير في البيئة اللاهوائية تنتج الأحماض الدهنية الخفيفة والكحول والألدهيدات والكيونات كما تنتج الروائح التي لا تحتاج لبيئة هوائية بطريقة أخرى .

النظام الموجود بالمرحلة الثانية لمحطة المدينة الخليل هو أبراج التحكم بالروائح بالمحاليل الكيميائية chemical wet scrubber towers مرحلة واحدة وتم تصميم نظام التحكم بالرائحة للتخلص من غاز كبريتيد الهيدروجين ومركبات الكبريتيد المختلفة فقط ولم يتم تصميم النظام للتحكم في غاز الامونيا بالأبراج الرطبة كيميائياً ولكن تم إضافة مرحلة للكربون النشط لإمتزاز الغازات بما فيها الأمونيا وهو عبارة عن مرحلتين مراحل مكونة من عدد 1 برج للتحكم في روائح الكبريتيد و2 خزان الكربون النشط أيضا للتخلص من باقي الروائح التي يمكن أن تبقى بعد البرج الرطب .

4-1 المركبات التي تسبب الروائح في محطات معالجة مياه الصرف الصحي

Odor release compounds in municipal wastewater treatment plants

عندما تصل مياه الصرف الى محطات الرفع تتهيج بفعل الاندفاع الى البيارات ويخرج غاز جزء من كبريتيد الهيدوجين من الطور المائي الذائب الى الحالة الغازية ويتراوح تركيزه عندها في الهواء المحيط من 2 جزئ في المليون الى عدة مئات من الاجزاء في المليون ؛ يكون المتوسط في معظم الاحيان 10 جزئ في المليون .

ثم ينتقل ماء الصرف الى مدخل المحطة حيث المصافي الاوتوماتيكية وأيضا يخرج جزء منه الى الهواء ويتراوح تركيزه في الهواء من 5-50 ppm جزئ في المليون أو أكثر كما تتواجد مركبات الكبريت المختزلة ويكون تركيزها من 50 ppb جزئ في البليون الى عدة اجزاء في البليون

الغازات هي مكونات كيميائية أيضا بالمياه ويعبر عن تركيزها جزئ في المليون للحجم ppmv

القانون العام للغازات :

$$PV = nRT$$

حيث P الضغط المطلق atom و V الحجم الذي يشغله الغاز و n مولات الغاز و R = 0.082057

atm.L/mole.K الثابت العام للغازات و T درجة الحرارة بالكلفن وهي $T (K) = 273.15 + ^\circ C$

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{(1 \text{ mole})(0.082057 \text{ atm.L/mole.K})[(273.15 + 0) K]}{1 \text{ atom}} = 22.414 \text{ L}$$

ووحدة الحجم تكون بالمتر المكعب ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) و (mg/m^3) وللتحويل لتركيز الغاز بين ppmv و

($\mu\text{g}/\text{m}^3$) من المعادلة التالية :

$$(\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{(\text{concentration ppmv})(\text{molecular weight g mole of gas})(10^6 \mu\text{g}/\text{g})}{22.414 \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{mole of gas}}}$$

لحساب تركيز غاز كبريتيد الهيدروجين المنبعث من مياه الصرف بفعل ضغط المجاري يكون عادة في حدود $\text{H}_2\text{S} = 37 \text{ ppmv}$ ولحساب تركيز الغاز $(\mu\text{g}/\text{m}^3)$ و (mg/m^3) عند درجة حرارة 27°C :

$$\text{H}_2\text{S molecular weight} = [(2 \cdot 1.01) + 32.06] = 34.08 \text{ g/mole}$$

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{(1 \text{ mole})(0.082057 \text{ atm.L/mole.K}) [(273.15 + 27^\circ\text{C}) \text{ K}]}{1 \text{ atm}} = 24.63 \text{ L}$$

$$(\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{37 \text{ m}^3}{10^6 \text{ m}^3} \frac{34.08 \frac{\text{g}}{\text{mole}} \text{H}_2\text{S} (10^6 \mu\text{g}/\text{g})}{24.63 \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{mole of gas H}_2\text{S}}} = 51196 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$\text{H}_2\text{S} = 51196 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 0.051196 \text{ mg/L}$$

الإتزان أو تركيز الغاز الذائب في سائل دالة في نوع الغاز والضغط الجزئي للغاز والعلاقة بين جزئ المول من الغاز mole fraction فوق السائل في الغلاف الجوي المحيط (الغاز في حالته الغازية) وجزئ المول للغاز في السائل (الغاز الذائب في السائل) يعطى بقانون هنري

$$P_g = \frac{H}{P_T} * X_g$$

حيث P_g هو جزئ المول للغاز في الهواء mole gas/mole air و H ثابت هنري

$$H = \frac{\text{atom.} \frac{\text{mole gas}}{\text{mole air}}}{\frac{\text{mole gas}}{\text{mole water}}}$$

و P_T هو الضغط الكلي وعادة يساوي 1 atm و X_g جزئ المول للغاز في المياه mole gas/mole water

$$X_g = \frac{\text{mole gas}_g}{\text{mole gas}_g + \text{mole gas}_w}$$

جزئ المول للغاز يناظر الضغط الجزئي للغاز وبالتالي إذا تم استخدام الضغط الجزئي يصبح لدينا قانون هنري كالتالي :

$$P_g = H * X_g$$

حيث P_g هو الضغط الجزئي للغاز atom

قانون هنري دالة في نوع الغاز ودرجة الحرارة وطبيعة السائل .

الكميات اللابعدية (عديمة الوحدات التعريفية لقيمتها أو بدون وحدة تعريف) unitless لقانون هنري تستخدم لحساب ذوبان الغازات ذات التركيزات الضعيفة جدا (آثار الغازات) في المياه ومياه الصرف وهي كالتالي :

$$= H_u \frac{C_g}{C_s}$$

حيث C_g هو تركيز المكونات في الحالة الغازية و C_s تركيز التشبع للمكونات في الحالة السائلة و H_u ثابت قانون هنري للكميات اللابعدية .

صور الكميات اللابعدية يتم الحصول عليها بملاحظة أنه عند 1 atom و درجة حرارة 0 يشغل مول واحد من الغاز حجم قدرة 22.414 L من الهواء وكل مول واحد من الهواء يشغل حجم قدره 0.082TL حيث T درجة الحرارة بالكلفن $T = 273.15 + ^\circ C$ وباستخدام هذه التحويلات يكون قانون هنري للوحدات اللابعدية :

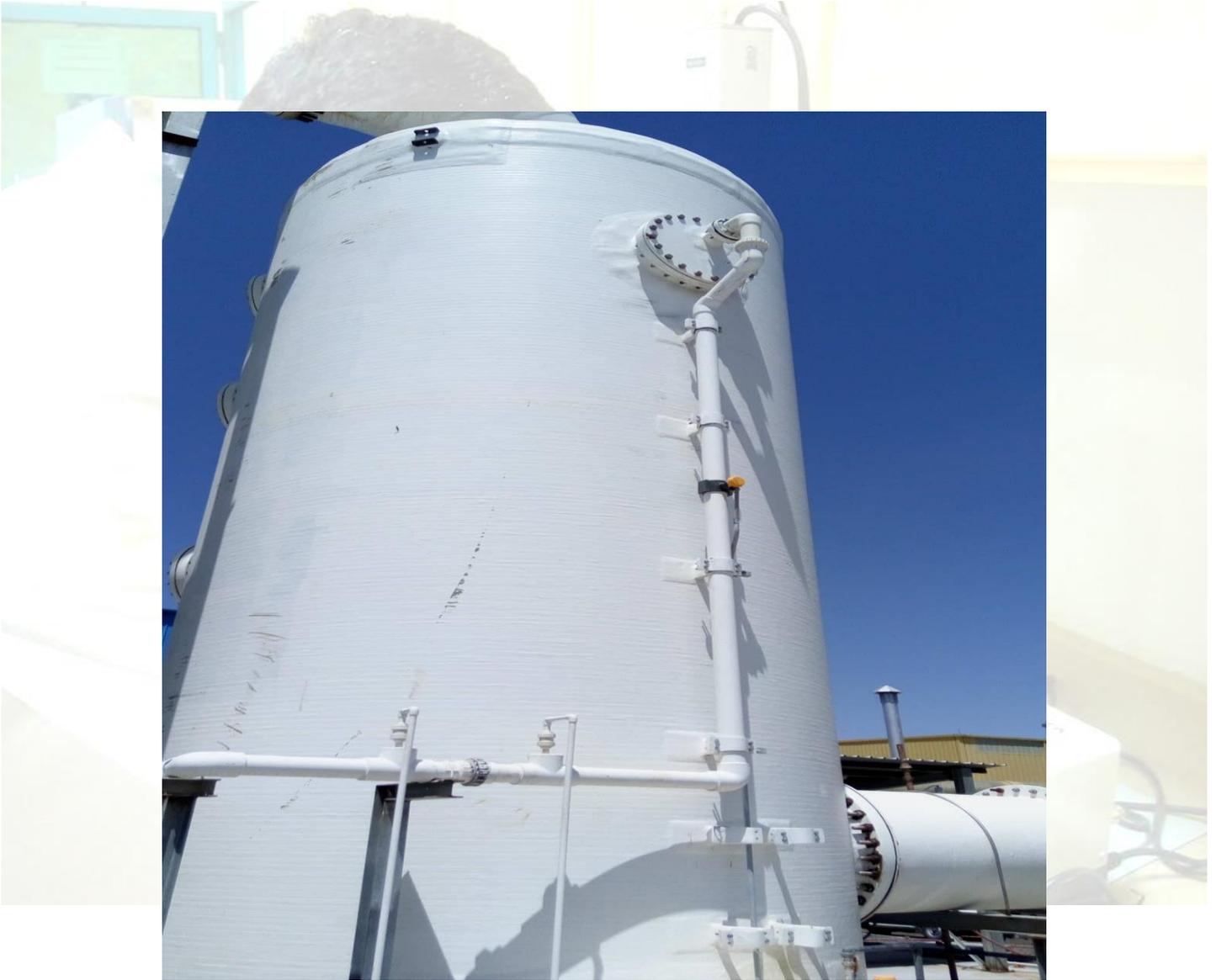
$$H_u = \left[H \frac{\text{atom} \cdot \frac{\text{mole gas}}{\text{mole air}}}{\frac{\text{mole gas}}{\text{mole water}}} \right] \left(\frac{\text{mole air}}{0.082TL} \right) \left(\frac{L}{55.6 \text{ mole water}} \right)$$

$$H_u = \frac{H}{4.559T}$$

وإذا تم التعبير عن ثابت هنري بصيغة $\text{atom} \cdot \text{m}^3 / \text{mole}$ تكون صيغة قانون هنري كالتالي :

$$H_u = \frac{H}{RT}$$

حيث H_u هو ثابت قانون هنري للوحدات اللابعدية و H قيم ثابت هنري معبرا عنها $\text{atom.m}^3/\text{mole}$ و R ثابت القانون العام للغازات $0.000082057 \text{ atom.m}^3/\text{mole.K}$ و درجة الحرارة كلفن $T = 273.15 +$ $^{\circ}\text{C}$



الفكرة في عملية التحكم في الروائح باستخدام المواد الكيميائية مبنية على أن المواد الكيميائية التي تسبب الروائح تنقسم إلى ثلاث أقسام هي :

- مواد ذات طبيعة حامضية مثل كبريتيد الهيدروجين H₂S
- مواد ذات طبيعة قاعدية مثل الأمونيا NH₃ (وهذه يتم معالجتها فيزيائيا في المحطة)
- مواد ليست حامضية ولا قاعدية مثل مثل المركبات العضوية للكبريتيد مثل ثنائي كبريتيد الكبريتيد وثنائي إيثيل الكبريتيد dimethyl disulphide & diethyl sulphide

المركبات المسببة للروائح التي تعمل كأحماض مثل كبريتيد الهيدروجين H₂S يمكن التخلص منها بتفاعلها مع مركبات قاعدية عند رقم هيدروجيني (pH=9-11) مثل هيدروكسيد الصوديوم / هيبوكلوريت الصوديوم

المركبات المسببة للروائح التي تعمل كقاعدة مثل الأمونيا NH₃ يتم تفاعلها مع أحماض عند درجة حموضة pH<3 مثل حامض الكبريتيك المركز (في محطة المدينة الخليل يتم التخلص منها بالكربون النشط).

المركبات المسببة للروائح والتي لا تعمل قاعدة ولا حامض وهي غالبا لا تكون ذائبة تماما في المياه تتفاعل عند نقطة التلامس في بداية النقاء محلول المواد الكيميائية مع الهواء الذي يتم شفطه وضخه الى الابراج وتتفاعل على سطح حشو (الوسط البيئي الصناعي وهو عبارة عن مواد بلاستيكية الهدف منها زيادة مساحة سطح التماس بين الهواء ومحلول المواد الكيميائية لاعطاء زمن للتلامس حتى يتم التفاعل) الابراج

4-2 حسابات استهلاك المواد الكيميائية

Calculations of consumed chemicals

بالنسبة للمحطة سيكون أعلى تركيز لكبريتيد الهيدروجين في مدخل المحطة وكل الكبريتات يتم أكسدها إلى كبريتيت وكبريتيد هيدروجين وتكون درجة الحموضة في المدخل pH =6.5-7.5 مناسبة لعدم تأين 80% من كبريتيد الهيدروجين لا يتأين الى HS⁻ & S⁻ .

تركيز الكبريتات يكون 50 mg/l وحيث أن درجة الحموضة في المدخل تكون pH=6.5-7.5 وحيث 0.45 من الغاز يكون في حالة اتزان 22 mg/l تتحول للحالة الغازية وتكون في إتزان كيميائي طبقا للقانون العام للغازات وقانون هنري لإنتشار الغاز .

لم يتم تركيب النظام على مدخل المحطة والمصافي الضيقة coarse screen للمرحلة الثانية لمحطة معالجة مياه الصرف بالمدينة الخليل وتم تركيبه فقط على محطة رفع المياه الخام ومبنى نزح المياه من الحمأة ومبنى التجفيف الحراري وسوف تجري الحسابات اللازمة هنا لمبنى التجفيف ووحدة نزح المياه من الحمأة (الديكانتر)

حجم المبنىان $V = 6000 \text{ m}^3$ ومعدل تغير الهواء التصميمي 9/hr مرة ومعدل تدفق الهواء $55000 \text{ m}^3/\text{hr}$ والتركيز الثابت أو الإستاتيكي 250 ppmv والمتغير أو الديناميكي 27 ppmv

$$1 \text{ ppm} = 1.4 \text{ mg}/\text{m}^3$$

وحيث أن معامل هنري للاتزان لكبريتيد الهيدروجين في الوسط المائي الى الحالة الغازية هو معامل هنري للاتزان

$$H_{\text{H}_2\text{S}} = 0.023 \frac{\text{atm}}{\text{mole}/\text{m}^3}$$

كتلة الوزن الجزيئي للغاز

$$M_{\text{H}_2\text{S}} = \text{mole mass} = 34.08$$

ضغط البخار المشبع للغاز

$$P_{\text{H}_2\text{S}} = \text{saturated vapour pressure of H}_2\text{S} = 20.265 \text{ bar}$$

عدد مرات تغيير الهواء في مبنى المصافي الميكانيكية الخشنة coarse screen

$$n \text{ air exchanges} = 9.2$$

فإننا يمكن استنتاج تركيز كبريتيد الهيدروجين (الواقعي والتصميمي) كالتالي :

أعلى تركيز للغاز :

$$X_{H_2S} = \frac{H_{H_2S}}{M_{H_2S}} c_{H_2S} \times \frac{1}{P_{H_2S}} \times \frac{1}{n \text{ airchanges}}$$

$$X_{H_2S} = \frac{0.023}{34.08} \times 10 \frac{g}{m^3} \times 1000000 \frac{1}{20.265 \text{ atm}} \times \frac{1}{9.2} = 3.6 \text{ ppm}$$

$$X_{H_2S} = \frac{0.023}{34.08} \times 27 \frac{g}{m^3} \times 1000000 \frac{1}{20.265 \text{ atm}} \times \frac{1}{9.2} = 9.72 \text{ ppm}$$

$$1 \text{ ppm} = 1.4 \text{ mg/m}^3$$

$$X_{H_2S} 3.6 \text{ ppm} \times 1.4 \text{ mg/m}^3 = 4.2 \text{ mg/m}^3$$

$$X_{H_2S} 9.72 \text{ ppm} \times 1.4 \text{ mg/m}^3 = 13.61 \text{ mg/m}^3$$

ثم نحسب كمية كبريتيد الهيدروجين الكلية في حجم الهواء الذي يتم تجديده ؛ حجم المباني في وحدتي معالجة الحمأة 6000 m^3 يتم تجديدها $9/\text{hr}$ مرات فيكون الحجم الكلي $55000 \text{ m}^3/\text{hr}$

وتركيز كبريتيد الهيدروجين الكلي :

عند أعلى تركيز للغاز :

$$X_{TH_2S} = 55000 \text{ m}^3/\text{hr} \times 4.2 \text{ mg/m}^3 = 231000 \text{ mg/hr} = 0.23 \text{ kg/hr}$$

$$X_{TH_2S} = 55000 \text{ m}^3/\text{hr} \times 13.61 \text{ mg/m}^3 = 748440 \text{ mg/hr} = 0.75 \text{ kg/hr}$$

4-2-1 حجم هيدروكسيد الصوديوم المستهلك بالتر

كل 2.35 كجم /مول من هيدروكسيد الصوديوم سوف يتفاعل مع 1 كجم/مول من كبريتيد الهيدروجين ؛
وحيث أن تركيز كبريتيد الهيدروجين في كمية الهواء المسحوبة للساعة 20 مرة تغيير هواء هي 0.23 kg/hr
في هذه المرحلة يتفاعل هيدروكسيد الصوديوم مع 70% من غاز كبريتيد الهيدروجين

فإن تركيز الصودا الكلي المستهلك طبقا لالتزان الكيميائي لأعلى تركيز للغاز :

$$X_{NaOH} = \frac{0.23 \frac{kg}{hr} \times 0.70 \times 2.35 kg}{1 kg} = 0.38 \text{ kg/hr}$$

$$X_{NaOH} = \frac{0.75 \frac{kg}{hr} \times 0.70 \times 2.35 kg}{1 kg} = 1.23 \text{ kg/hr}$$

وحيث أن تركيز الصودا هو 0.5 kg/L

$$50\% \text{ NaOH} = 0.5 \text{ gm/cm}^3 = 50 \text{ gm/100cm}^3 = 500 \text{ gm /L} = 0.5 \text{ kg/l} = 500 \text{ kg}$$

NaOH/m³

حجم هيدروكسيد الصوديوم اللازم خلال 16 ساعة عمل للوحدات :

$$V_{NaOH} = \frac{0.38 \text{ kg/hr}}{0.5 \text{ kg/l}} = 0.76 \text{ L/hr} = 18.24 \text{ L/d} = 12.16 \text{ L/16 hr}$$

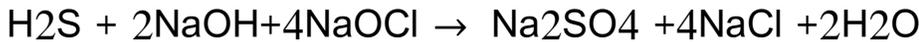
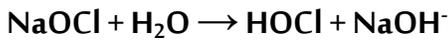
$$V_{NaOH} = \frac{1.23 \text{ kg/hr}}{0.5 \text{ kg/l}} = 2.47 \text{ L/hr} = 59.22 \text{ L/d} = 39.52 \text{ L/16 hr}$$

4-2-2 حجم هيدروكسيد الصوديوم + حجم هيبوكلوريت الصوديوم المستهلك بالتر

كل 2.35 جرام /مول من هيدروكسيد الصوديوم سوف يتفاعل مع 1 جرام/مول من كبريتيد الهيدروجين

الباقي من تركيز كبريتيد الهيدروجين هو 30% يتم التفاعل معها في هذه المرحلة

2.35 kg NaOH per kg of H₂S



كل جرام مول من كبريتيد الهيدروجين سوف يستهلك 2.35 جرام /مول من هيدروكسيد الصوديوم + 8.74 جرام/مول من حامض الهيوكلورس

$$34.081 + 2(40) + 4(74.453)$$

$$8.74 \text{ kg NaOCl} + 2.35 \text{ kg NaOH per kg of H}_2\text{S}$$

وحيث أن تركيز كبريتيد الهيدروجين في كمية الهواء المسحوبة للساعة بمقدار 9 مرات تغيير هواء هي 0.23 kg/hr فإن تركيز الصوديوم هيوكلوريت الكلي المستهلك طبقا لالتزان الكيميائي :

$$X_{\text{NaOCl}} = \frac{0.23 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times 0.30 \times 8.74 \text{ kg}}{1 \text{ kg}} = 0.60 \text{ kg/hr}$$

$$X_{\text{NaOCl}} = \frac{0.75 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \times 0.30 \times 8.74 \text{ kg}}{1 \text{ kg}} = 1.97 \text{ kg/hr}$$

وحيث أن تركيز هيوكلوريت الصوديوم هو 12% = 0.120 kg/l

$$12\% \text{ NaOCl} = 0.120 \text{ gm/cm}^3 = 120 \text{ gm/100cm}^3 = 0.120 \text{ gm/L} = 120 \text{ kg NaOCl/m}^3$$

حجم هيوكلوريت الصوديوم اللازم

$$V_{\text{NaOCl}} = \frac{0.6 \text{ kg/hr}}{0.120 \text{ kg/l}} = 5 \text{ L/hr} = 120 \text{ L/d} = 80 \text{ L/16hr}$$

$$V_{\text{NaOCl}} = \frac{1.97 \text{ kg/hr}}{0.120 \text{ kg/l}} = 16.39 \text{ L/hr} = 393.3 \text{ L/d} = 262.24 \text{ L/16hr}$$

كل جرام مول من كبريتيد الهيدروجين سوف يستهلك 2.35 جرام /مول من هيدروكسيد الصوديوم + 8.74 جرام/مول من حامض الهيوكلورس

حجم هيدروكسيد الصوديوم للمرحلة الثانية

$$X_{NaOH} = \frac{0.23 \frac{kg}{hr} \times 0.30 \times 2.35 kg}{1 kg} = 0.162 \text{ kg/hr}$$

$$X_{NaOH} = \frac{0.75 \frac{kg}{hr} \times 0.30 \times 2.35 kg}{1 kg} = 0.53 \text{ kg/hr}$$

وحيث أن تركيز الصودا هو 0.5 kg/l

$$50\% \text{ NaOH} = 0.5 \text{ gm/cm}^3 = 50 \text{ gm/100cm}^3 = 500 \text{ gm /L} = 0.5 \text{ kg/l} = 500 \text{ kg}$$

NaOH/m³

حجم هيدروكسيد الصوديوم

$$V_{NaOH} = \frac{0.162 \text{ kg/hr}}{0.5 \text{ kg/l}} = 0.324 \text{ L/hr} = 0.78 \text{ l/d} = 0.5 \text{ l/16hr}$$

$$V_{NaOH} = \frac{0.53 \text{ kg/hr}}{0.5 \text{ kg/l}} = 1.06 \text{ L/hr} = 25.44 \text{ l/d} = 16.96 \text{ L/16hr}$$

4-2-3 حجم الكيماويات المستهلكة في مباني معالجة الحمأة الديكانتر والمجفف المحطة بالتر

المادة الكيميائية	الكمية المستهلكة في اليوم بالتر التصميمي	الكمية المستهلكة في اليوم بالتر لمتوسط المتوقع
هيدروكسيد الصوديوم 50%	56.5 L/16hr (50%)	12.67 L/16hr(50%)
هيبوكلوريت الصوديوم 12%	141.25 L/16hr (20%)	31.7 L/16hr(20%)
	262 L/16hr	80 L/16hr

4-3 إجراءات تشغيل مراحل أبراج التحكم في الرائحة

Procedures of odor control Scrubbers stages

تبدأ العملية بتكسير مركبات الكبريتيد العضوية مثل المركبتان وثنائي ميثيل الكبريتيد وثنائي إيثيل ثنائي الكبريتيد واسكاتول والمرحلة الأولية لبدء معالجة غاز كبريتيد الهيدروجين والمركبتات (وهي مركبات حلقيه كبريتية خماسية وسداسية ورباعية وثلاثية) H₂S&mercptanes عند الرقم الهيدروجيني pH=7 ثم أخيرا التخلص من كبريتيد الهيدروجين عند الرقم الهيدروجيني pH=9-11 وقد تم تزويد البرج بالكترودات لقياس الرقم الهيدروجيني وأيضا تستطيع قراءة جهد الأكسدة و لإختزال oxidation reduction potential ORP وتم ربطها بمضخات حقن المواد الكيميائية بحيث تشغل المضخات وتوقفها عند اللزوم طبقا لدرجة الحموضة المطلوبة للتفاعل الكيميائي .

كبريتيد الهيدروجين ومركبات المركبتان mercptanes هي أحماض ضعيفة تتفاعل مع هيدروكسيد الصوديوم مكونة أملاح ذائبة في الماء تبقى لفترة طويلة حتى تتمكن هيبوكلوريت الصوديوم من تكسيرها ؛ المركبات العضوية الأخرى لا تتفاعل مع هيدروكسيد الصوديوم ولكنها تتفاعل في على سطح حشو البرج مع هيبوكلوريت الصوديوم الذي يعمل كمادة مؤكسدة قوية خصوصا عند درجة الحموضة المنخفضة

1-يقوم المشغل بفتح مياه التخفيف للمواد الكيميائية

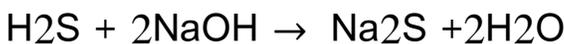
2-ثم يقوم بتشغيل مروحة الشفط

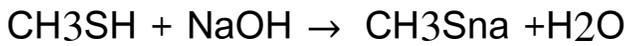
3-ثم يقوم بتشغيل مضخات حقن المواد الكيميائية

4-ثم تشغيل المضخة رقم (1) أو (2) ومهمتها تدوير هيدروكسيد الصوديوم والتي تجرعه مضخات التجريخ

الخاصة بهيدروكسيد الصوديوم حيث يتفاعل هيدروكسيد الصوديوم فقط مع كبريتيد الهيدروجين

ويكون الرقم الهيدروجيني pH=9-11 وتتم التفاعلات التالية :





6- ثم تشغيل مضخات تجريع هيبوكلوريت الصوديوم والذي يختلط مع هيدروكسيد الصوديوم وتقوم مضخات التدوير بخلط صوديوم هيبوكلوريت/هيدروكسيد الصوديوم أعلى البرج والذي يحتوي على حشو يساعد على مساحة التلامس بين الغاز ؛ يذوب هيبوكلوريت الصوديوم في الماء مكونا حامض الهيبوكلورس HOCl وهو عامل مؤكسد قوي و أيون هيبوكلوريت OCl^- وهو عامل مؤكسد ضعيف وحيث أن الفرق بين قوة الأكسدة بينهما كبير فيمكن قراءتها باستخدام الكترود ORP والتي تعكس كمية HOCl الموجودة في المحلول كما أن تركيز هذين الشئين يرتبط بالرقم الهيدروجيني ويتأثر بها كثيرا فعند رقم هيدروجيني مرتفع يتحول الهيبوكلوس كله الى أيون OCl^- ويكون تركيز عالي في المحلول بينما عند رقم هيدروجيني منخفض سيتحول أيون الهيبوكلوريت الى هيبوكلورس وبالتالي سيكون تركيز الحامض عند $\text{pH} \leq 7$ كبير وهو العامل المؤكسد القوي اللازم لأكسدة مركبات الكبريتيد العضوية التي لم يتفاعل معها هيدروكسيد الصوديوم .

التغيير الصغير في الرقم الهيدروجيني يحدث تغيير صغير نسبيا في تركيز حامض الهيبوكلورس وبالتالي في قراءة ORP رقم هيدروجيني $\text{PH} > 9$ تعمل البيكربونات المتواجدة اصلا في الماء كمنظم للرقم الهيدروجيني Buffering وبالتالي اضافة حامض أو قاعدة سيحدث إزاحة تدريجية لقيمة الرقم الهيدروجيني وهذا هو السبب في استخدام الكترود قياس ORP للتحكم بطريقة ناجحة آلية في درجة الحموضة في هذا المدى لدرجة الحموضة .

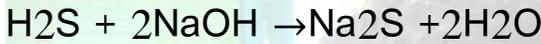
يتم ضبط هذه البيانات على ناقل البيانات وتصبح العملية كلها آلية

البرج (المرحلة)	المركب المستهدف	الرقم الهيدروجيني pH	جهد الأكسدة والاختزال ORP	كيمياويات المعالجة
1	الكبريتيدات	7	-	هيدروكسيد صوديوم

هيبوكلوريت/صودا	650-750	11-9	كبريتيد هيدروجين	2
-----------------	---------	------	------------------	---

يمكن تفسير ميكانيكية التحكم في الروائح عن طريق التفاعلات الكيميائية التي تحدث في كل مرحلة كالتالي :

يتم ضخ هيدروكسيد صوديوم بهدف إذابة كبريتيد الهيدروجين بهيدروكسيد الصوديوم



حيث تضبط الرقم الهيدروجيني إلى $\text{pH} \leq 7$ وتكون مناسبة أيضا لتفعيل دور حامض الهيبوكلورس المؤكسد القوي لمركبات الكبريتيد العضوية مع كبريتيد الصوديوم الناتج من تفاعل هيدروكسيد الصوديوم مع كبريتيد الهيدروجين في المرحلة التالية في البرج



4-4 التحكم باستخدام نظام جهد الأكسدة و الإختزال

من أهم الفوارق بين نظام ORP ونظام pH أن اللإلكترود الحساس في نظام ORP مصنوع من معدن خامل (صعب الأكسدة و الإختزال) مثل البلاتين أو الذهب والفرق الثاني تعويض درجة الحرارة حيث يكون ذلك نموذجيا في نظام pH وغير موجود في نظام ORP ويعبر عن الديناميكا الحرارية لكل من النظامين بمعادلة نرنست : Nernst equation :

$$E_{\text{cell}} = E^0_{\text{oxid/reduc}} + \frac{2.303 RT}{nF} * \text{Log} \frac{\text{Oxd}}{\text{Reduc}}$$

حيث E^0 هو الجهد في ظل الظروف القياسية و R الثابت العام للغازات و F ثابت فراداي وقد تم تعريف هذه الثوابت وقيمها سابقا بالتفصيل في غير موضع من الكتاب .

تشبه عملية التحكم بنظام ORP نظام التحكم pH وهي تحتاج أن يكون المصمم على دراية عميقة وفهم كامل بكيمياء للنظام المستهدف التحكم فيه بالإضافة إلى حجم الأحواض وطبيعة المواد والكيموايات المستخدمة

وخصائصها الفيزيائية والكيميائية والتفاعلات التي تحدث داخل النظام المستهدف التحكم فيه ؛ في حالة ما إذا كان نصف التفاعل أو كليهما يستلزم أيون الهيدروجين سيكون قياس ORP معتمد على pH وسوف يتغير الجهد المقاس بواسطة ORP مع نسبة الأكسدة و الإختزال ؛ وبما أن نسبة الأكسدة والإختزال تتغير مع pH يكون من الضروري عمليا تحديد نقاط التحكم وتكون قياسات كل من ORP و pH متحكمة بالعملية .

4-5 تعظيم الإستفادة من تجريع الكلور في عملية التحكم في الروائح وأيضا في عملية تطهير

المياه المعالجة وأهمية قراءة ORP بدلا من pH

ناقشنا في غير موضع من الكتاب مفهوم ونظرية عمل وأسس قياس جهد الأكسدة والإختزال ORP وأيضا تناولنا ذلك في غير موضع من هذا الكتاب ؛ ونظرا لأن بعض المحطات تستخدم الكلور في عملية التطهير وأيضا في عملية التحكم بالروائح فسوف نشرح كيف يمكن تعظيم الإستفادة من جرعات الكلور المستخدمة كلا الحالتين عن طريق إستخدام مسبار أو الكترود قياس جهد الأكسدة والإختزال للقياس المباشر على وحدتي التطهير والتحكم بالرائحة والمراقب الإلكتروني لحث مضخات التجريع لتشغيلها عند الحاجة .

القياس المستمر لجهد الأكسدة والإختزال يمكن أن يزودنا بالإتجاه الذي يمكن أن يرتبط ببقايا المادة المؤكسدة أو المطهرة وهي هنا الكلور في أي شكل فيزيائي من أشكاله ويعتبر ORP قياس جهد الأكسدة أو جهد الإختزال للمياه أو المحلول معبرا عنه ميلي فولت mv ؛ ومثلا معظم مياه الآبار تعطي ORP بين -100mv و 150mv وعند إضافة مادة مؤكسدة مثل هيبوكلوريت الصوديوم يزيد ORP بزيادة الجرعة وبالتالي توجد علاقة بين المادة المؤكسدة المتبقية بعد التطهير (جهد التأكسد) للمياه وقراءة ORP ميلي فولت mv ؛ وبالمثل عند إضافة نازع للكلور المتبقي مثل بيسفيت الصوديوم (عامل مختزل) فإن قراءة ORP ميلي فولت mv سوف تنخفض لمستواها مرة أخرى .

بالتالي يمكن إستخدام مسبار أو الكترود قياس جهد الأكسدة والإختزال للقياس المباشر على وحدتي التطهير والتحكم بالرائحة والمراقب الإلكتروني لحث مضخات التجريع لتشغيلها عند الحاجة وإيقاف التشغيل عند عدم

الحاجة لمزيد من المادة المطهرة تمكنا هذه الطريقة الأوتوماتيكية من إستهلاك الحد الأدنى والكافي في نفس الوقت من المواد المؤكسدة المطهرة اللازمة للعملية .

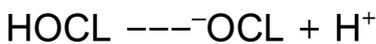
يرتبط جهد الأكسدة والأختزال ORP ويتأثر بالرقم الهيدروجيني ودرجة الحرارة فمثلا عند نفس درجة الحرارة لو كان الرقم الهيدروجيني $pH = 6.5$ للمياه أو المحلول وتم تجريع جرعة من الكلور هي 3ppm سنجد أن $ORP = 750\text{ mv}$ بينما لنفس الجرعة من الكلور وعند نفس درجة الحرارة وعند الرقم الهيدروجيني $pH = 8.5$ سيكون $ORP = 610\text{ mv}$ وهذه العلاقة العكسية بين الرقم الهيدروجيني و ORP تعتبر خاصية فريدة تتعلق بكمياء الكلور في المياه .

تركيز هيبوكلوريت الصوديوم المستخدم عادة يكون بين 12%-12.5% ويذوب في الماء طبقا للمعادلة التالية :



إضافة هيدروكسيد الصوديوم NaOH إلى المياه يزيح الرقم الهيدروجيني إلى مستوى أعلى من القلوية ؛ وإذا كانت المياه متعادلة الرقم الهيدروجيني أو تقريبا متعادلة فإن إضافة هيدروكسيد الصوديوم ترفع الرقم الهيدروجيني إلى $pH = 8$ أو $pH = 9$.

حامض الهيبوكلورس HOCl (الكلور الحر) هو أهم صور الكلور في المياه وهو الإبتدائي الأول عن قتل الجراثيم ؛ إلا أن الهيبوكلوس هو حامض ضعيف في المياه وهذا معناه أنه سوف يتفكك إلى أنيون الهيبوكلوريت OCl^- وهو قاتل ضعيف للجراثيم مقارنة بالهيبوكلورس HOCl :



جهد الأكسدة و الإختزال لحامض الهيبوكلورس HOCl هو $ORP = 1.49\text{ V}$ ولذلك فهو مؤكسد قوي وقاتل جيد للميكروبات بينما OCl^- مؤكسد ضعيف $ORP = 0.94\text{ V}$ وهو قاتل ضعيف بالنسبة للميكروبات ؛

وتوجد حالة إلتزان نشط في المياه لأن الكلور يتحول في كلا إتجاهي التفاعل بين صورتَي الكلور HOCL و OCL⁻ ؛ وفي المعادلة الخيرة نرى صورة الحامض ممثلة في أيون الهيدروجين H⁺ وهو يلعب دور هام في تحديد طبيعة صورة الكلور في المياه ؛ فإذا كان الرقم الهيدروجيني للمياه $pH < 7$ سيكون تركيز أيون الهيدروجين H⁺ عالي وهذا سوف يسبب تفاعل OCL⁻ مع أيون الهيدروجين H⁺ وسيزيد تركيز الهيبوكلورس HOCL وهي الصورة الأكثر فاعلية في قتل الميكروبات من صور الكلور وبالعكس إذا كان الرقم الهيدروجيني للمياه $pH > 7$ سيكون تركيز أيون الهيدروجين H⁺ منخفض فسبب ذلك إزاحة الإلتزان ناحية تفكيك HOCL إلى OCL⁻ و H⁺ وهي الصورة الأقل تأثيراً على الميكروبات .

عند رقم هيدروجيني $pH = 7.50$ سيكون 50% من صور الكلور عبارة عن HOCL و 50% من صور الكلور عبارة عن OCL⁻ ؛ ودعنا نوضح بمثال عملي ؛ بفرض أن مضخة تجريع الكلور تجرع 100ppm ما الذي سوف يحدث ؟ سنجد أن الرقم الهيدروجيني سوف يزيد لأن هيدروكسيد الصوديوم سوف يتكون كما يتضح من المعادلة السابقة مما يجعل إلتزان HOCL/OCL⁻ سوف ينزاح ناحية تكوين OCL⁻ .

وإذا كان الرقم الهيدروجيني قبل تجريع الكلور $pH = 7.50$ ثم بعد إضافة الكلور ارتفع ليصل $pH = 8$ فإن فقط 25ppm من 100ppm يكون لها فائدة حقيقية كقاتل بكتيري أو مطهروبالتالي سيكون 75ppm تم تهديرها وهذه كمية كبيرة من المطهر تضيف أملاح للمياه وتهدر بدون فائدة .

من ناحية أخرى إذا تم إستخدام الحامض للحفاظ على الرقم الهيدروجيني للمياه عند $pH = 6.50$ فإن 95% من الهيبوكلوريت المضاف سيظل في صورة HOCL ؛ وبإستمرار تجريع الهيبوكلوريت يتكون المزيد من كلوريد الصوديوم في المياه وبالتالي ترتفع TDS .

6-4 إجراءات معايرة الكترود جهد الأوكسدة والإختزال

*إملاً دورق إسطوانى سعة 100ml للغسيل اللإلكترود

*جهاز محاليل معايرة من 100ml محلول منظم $pH = 4.01$ و $pH = 7$

*بواسطة ملعقة أو قضيب خشبي أضف كمية من مادة كونهيدرون quinhydrone وقلبها جيدا بحيث يتبقي جزء من المادة غير ذائب في المحلول المنظم (20g مثلا) لكل من المحلولين ؛ تأكد من وجود فائض غير ذائب من المادة وأضف زيادة إن لزم الأمر

*إشطف اللالكترود جيدا بالماء المقطر ثم جففه جيدا ثم ضعه في محلول $pH = 7$ المخلوطة مع الكونهيدرون مع التقليب باللائكترود بلطف لمدة 30-60 ثانية حتى تستقر قراءة اللالكترود

*يجب أن تكون القراءة ضمن حدود $\pm 15mv$

*إشطف اللالكترود جيدا بالماء المقطر ثم جففه جيدا ثم ضعه في المحلول المنظم $pH = 4.01$ المخلوطة بالكونهيدرون وكرر كما فعلت من المحلول الأول

*يجب أن تكون القراءة ضمن حدود $+170mv$ إلى $+185mv$ فوق القراءة المأخوذة من المحلول المنظم $pH = 7$ بمعنى لو كانت القراءة للقراءة للمحلول $pH = 7$ مثلا $+90mv$ فستكون القراءة للمحلول $pH = 4.01$ بين $+260mv$ أي $(+170mv) + (+90mv)$ و $+275mv$ أي $(+185mv) + (+90mv)$.

*إذا كانت القراءات ضمن الحدود السابقة كما شرحنا يكون اللالكترود سليم وليس هناك مشكلة ويمكن معايرته مع جهاز قياس للحصول على القراءة السليمة (لكي يعكس مثلا قيمة الكلور المتبقي المعقولة أو جهد الأكسدة و الإختزال) .

*وإذا كان لفترة قصيرة القراءة أقل من $+170mv$ عند التغير بين المحاليل 4 و 7 فمعنى هذا أن طبقة من الرواسب تظلي البلاتين ويجب إزالتها بأحد الطرق ؛ مثلا تنظيف سطح الكترود البلاتين بقماش ناعم ؛ نقع اللالكترود في محلول يذيب المواد المترسبة المتوقعة ؛ لمع برفق سطح اللالكترود بإستخدام بورق صنفرة من كربيد السيليكون رقم 600 (600 grade wet silicon carbide paper) ؛ وبعد التنظيف دع اللالكترود ينقع في محلول منظم من المحاليل المستخدمة للمعايرة قبل البدء في إعادة عملية المعايرة .

*يجب تحضير خليط المحلول المنظم/ كونهيدرون طازجا قبيل المعايرة في كل مرة تريد معايرة اللايكتروود ؛
ولا تخزن الخليط ولا تحتفظ به أكثر من ساعتين لأنه تتغير قراءته بمرور الوقت

*تختلف قراءة ORP كما ذكرنا مع درجة الحرارة ؛ فمثلا خليط المحلول المنظم/ كونهيدرون عند استخدام
المحلول المنظم pH = 7 و المحلول المنظم pH = 4 لدرجات الحرارة المختلفة يوضحها الجدول التالي :

reading of buffer pH =7/quinhdrone			
Temperature	20°C	25°C	30°C
ORP Reading mv	+89 - +107	+83 - +101	+76 - +94
pH Reading	5.20 - 5.50	5.30 - 5.60	5.42 - 5.72
reading of buffer pH =4/quinhdrone			
Temperature	20°C	25°C	30°C
ORP Reading mv	+260 - +287	+254 - +281	+247 - +274
pH Reading	2.15 - 2.60	2.25 - 2.70	2.37 - 2.82

4-7 المرحلة الثانية نظام الكربون المنشط

Activated carbon second stage

ينتقل الهواء الى المرحلة الثانية وهي خزان الكربون المنشط والذي تم تصميمه للقيام بعملية إزالة الروائح بكفاءة حتى في أثناء توقف أبراج إزالة الرائحة

يستخدم الكربون المنشط إمتزاز الغازات خصوصا غاز كبريتيد الهيدروجين وهو مرحلة إضافية للتخلص من باقي آثار الغازات وقد يستخدم بمفرده لإزالة الروائح وخاصة كبريتيد الهيدروجين ؛ النظام عبارة عن 2 خزان يتم تقسيم الخزان من الداخل أقسام معبأة بالكربون المنشط وفي حالة إنخفاض كفاءة وسط الإمتزاز وهو الكربون على على استيعاب الغازات يتم اعادة تنشيطه باستخدام هيدروكسيد صوديوم 45% ؛ يستطيع النظام استيعاب تركيز من كبريتيد الهيدروجين يصل الى 150ppm ويستطيع إزالة 99% منه .

الخزان قطره 3.5 m من البولي بروبيلين المقوى وبداخله وعاء استانلس استيل طوله 4m وقطره 0.858m ؛ ويستوعب معدل تدفق $55000 \text{ m}^3/\text{hr}$ يوجد عداد قياس للضغط على الخزان وكاشف لقياس تركيز غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S ؛ وامام مدخل الخزان منظم للتحكم في حجم الهواء damper .

سعة الامتزاز النوعية للكربون 16% و ؛ وزن الكربون 7250 kg والوزن الجزيئي لغاز كبريتيد الهيدروجين $\text{MW}=34.08$ ؛ وعدد أفجادرو $\text{Avogadro's No.}= 22$ ؛ والنسبة بين الوزن الجزيئي / عدد افجادرو

. 1.55



عمر وسط الامتزاز (زمن استعمال الكربون لامتصاص الروائح قبل الحاجة لاعادة تنشيطه) يمكن حسابها كالتالي :

$$\text{H}_2\text{S mass} = 1\text{mg}/\text{m}^3 \times 55000 \text{ m}^3/\text{hr} = 55000 \text{ mg H}_2\text{S}/\text{hr} = 0.055 \text{ kgH}_2\text{S}/\text{hr}$$

كتلة المياه اللازمة لإزالة الغاز من الفحم 183000 kg وعند حمل 30% وزن/ وزن

$$183000 \text{ kg} \times 30\% = 5490 \text{ kg H}_2\text{S}$$

وعند كتلة من الغاز 0.055 kgH₂S/hr يكون عمر الكربون النشط :

$$\text{Activated carbon } Y = \frac{5490 \text{ kg H}_2\text{S}}{0.055 \text{ kgH}_2\text{S/hr}} = 99818 \text{ hr} = 11 \text{ Y}$$

1- يدخل الهواء الذي تضخه مروحة الشفط من المبنى بعد مروره على البرج الى أسفل خزان الكربون المنشط حيث يتم دفعه الى أعلى فيتم امتزازه على سطح حبيبات الكربون

2- يقرأ جهاز متابعة تركيز غازكبريتيد الهيدروجين تركيزه في الهواء الخارج من أعلى الخزان

3- يوضح عداد قياس فرق الضغط بين طبقات الكربون ؛ يتم متابعة قياس الضغط شهريا ومقارنته بالضغط التصميمي فإذا كان لأقل من السابق مثلا 100pa يجب ضبط منظم التحكم في ضغط الهواء ان لزم الامر ؛ اما اذا كان أعلى 200pa أي 50% من الضغط التصميمي فيجب تغيير الكربون

4- بمرور الوقت سوف يتشبع الكربون بالغاز ويجب أخذ عينات منه لإختبار تشبعه من عدمه بإختباره اليود

5- في حالة تشبع الكربون يتم تنشيط الكربون بغسله بمحلول من هيدروكسيد الصوديوم عدة مرات ؛ فتح محبس تصريف الخزان بينما تستمر عملية التنشيط مع دخول الهواء بشكل طبيعي أو يمكن غلق محبس دخول الهواء وفصله عن مراحل الأبراج وترك الهواء يخرج بعد البرج الثاني ؛ نبدأ التنشيط باستخدام محلول من هيدروكسيد الصوديوم 5% ثم نفرخ الخزان ثم نملأ الخزان بماء مالح وتركه ساعة واحدة ثم نفرغه .
نملأ الخزان مرة أخرى بمحلول من هيدروكسيد الصوديوم 5% ونتركة 24 ساعة ثم نفرخ الخزان ثم نملأ الخزان بماء مالح وتركه ساعة واحدة ثم نفرغه .

نملأ الخزان مرة أخرى ب محلول من هيدروكسيد الصوديوم 5% ونتركة 8 ساعة ثم نفرخ الخزان ثم نملأ الخزان بماء مالح ثم نفرغه فورا .

4-8 إنبعاثات غازات الإحتباس الحراري GHG greenhouse gas emission

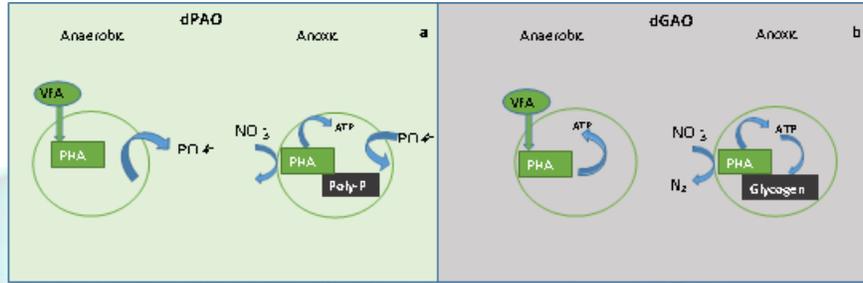
من أهم غازات الإحتباس الحراري غاز الميثان CH_4 وغاز النيتروس Nitrous oxide N_2O وكلاهما ينتجان أثناء معالجة مياه الصرف الصحي وأيضا ينبعث غاز NO وجميعها تؤدي لنضوب طبقة الأوزون التي تحمي الغلاف الجوي والتي تؤدي لزيادة درجات حرارة الكرة الأرضية ؛ وقد وجد ان تأثير غاز N_2O وغاز CH_4 أكبر من تأثير غاز ثاني أكسيد الكربون 298 مرة و 21 مرة على التوالي وبالتالي فإن التركيزات المنخفضة من هذه الغازات ذات تأثير كبير على البصمة الكلية للكربون Carbon footprint لأي محطة معالجة لمياه الصرف .

ينتج غاز N_2O و NO أثناء الترتة والنترتة العكسية عن طريق بكتيريا أكسدة الأمونيا AOB's التي تحول الأمونيا لنيترت في مرحلة النترتة ؛ وفي النترتة العكسية حينما تختزل النترات إلى غاز ثنائي النيتروجين ؛ بينما يتحرر الميثان في الأحواض اللاهوائية أثناء أكسدة المركبات العضوية وفي الهواضم اللاهوائية .

توجد علاقة بين كمية غاز الميثان المنبعثة وكمية الكربون التي يتم إزالتها من النظام COD والعلاقة هي $0.25 \text{ kg } CH_4 / \text{ kg } COD$ ؛ وتمثل نسبة غازات الإنبعاث الحراري التي تنبعث من محطات المعالجة في الدول الصناعية 3% من مجموع الغازات المنبعثة حيث تساهم الصناعة بنسبة 18% والكهرباء 25% .

تنبعث الغازات المختلفة للنيتروجين نتيجة أكسدة الأمونيا حيويًا بواسطة البكتيريا كما يتحرر أيضا غاز N_2O و NO أثناء عملية إزالة الفوسفور في البيئة اللاهوائية anoxic كما أوضحنا بالتفصيل ودور بكتيريا DPAO's ؛ يتحلل الجليكوجين المخزن في خلايا بكتيريا GAO's في البيئة اللاهوائية anaerobic بهدف الحصول على الطاقة وتخزينه في صورة PHA ثم في البيئة الهوائية تؤكسد PHA بهدف النمو وتجديد مخزون الجليكوجين بدون إزالة للفوسفور ؛ وفي البيئة اللاهوائية anoxic تقوم بكتيريا DGAO's بنفس

الآلية كما فعلت بكتيريا GAO's في البيئة اللاهوائية anaerobic ولكن في هذه المرة مع إزالة النيتروجين من خلال عملية النترة العكسية .



غاز N_2O مركب وسيط في عملية النترة العكسية وتراكمه مرتبط بنشاط إنزيم NoS-enzyme وقد يحدث التراكم لسببين الأول إذا كانت الغالبية العظمى من تجمعات بكتيريا النترة العكسية لا تمتلك الترميز أو التكويد الجيني gene encoding ل إنزيم NoS-enzyme وبالتالي يكون غاز N_2O هو الناتج النهائي لنشاطها في عملية النترة العكسية والثاني إذا تأثر معدل إختزال أكسيد النيتروس ببعض المؤثرات التشغيلية أو البيئية مما يجعل معدل إختزال النترات والنيتريت أعلى من معدل إختزاله .

1-8-4 العوامل التي تؤدي لتراكم N_2O أثناء عملية النترة العكسية

*الأكسيجين الجزئي : الأكسيجين يثبط تخليق ونشاط إنزيمات النترة العكسية ومن المعلوم أن NoS أكثر حساسية للأكسيجين عن أي مختزلات reductases بيولوجية أخرى ؛ وحيث أنه من الطبيعي أن يكون تركيز الأكسيجين ضعيف جدا أو منعدم في البيئة اللاهوائية anoxic فمن المحتمل وصول الأكسيجين لها من المنطقة الهوائية بحوض التهوية أو من حوض التهوية نتيجة زيادة ضخ الأكسيجين بحوض التهوية خصوصا إذا كان معدل التدوير (كما في خنادق التأكسد مثل الكاروسيل أو باسفير) عالية أو معدلات التندفق من المنطقة او الحوض الهوائي للحوض اللاهوائي anoxic كبير وسريع (كما في النترة/ النترة العكسية القبيلة preceding nitrification / denitrification) مما يؤدي لتثبيط إختزال N_2O

*الرقم الهيدروجيني : كلما إنخفض الرقم الهيدروجيني pH كلما زاد تراكم N₂O وتكون أعلى نسبة تراكم عند الرقم الهيدروجيني pH = 5-6 وتكون نسبة التراكم ملحوظة أيضا عند pH = 6-6.5 وذلك بسبب التنافس على الألكترولونات خلال خطوات النترية العكسية الأربعة عندما يكون مصدر الألكترولونات الناتج من أكسدة الكربون محدود ؛ ويكون الرقم الهيدروجيني المثالي لمنع تراكم الغاز pH = 7.5-8

*نسبة حامض النيتروس الحر NO₂⁻ / N₂O : بعض الدراسات أثبت أن وجود NO₂⁻ في المنطقة اللاهوائية anoxic يسبب تراكم N₂O أكثر من تواجد NO₃⁻

*الكبريتيدات أو كبريتيد الهيدروجين H₂S : معروف أن كبريتيد الهيدروجين التي يتولد في شبكة مياه الصرف الصحي سام للبكتيريا حيث يغير نشاط البكتيريا غير ذاتية التغذية التي تقوم بالنترية العكسية ويؤدي لتراكم N₂O أثناء عملية المعالجة البيولوجية حيث يسبب وجوده 50% تثبيط لكل عمليات الإختزال ليس فقط لحامض النيتروس N₂O ولكن أيضا لكل من NO₂⁻ و NO₃⁻ عندما يصل تركيزه H₂H- 0.2-0.5 mg S/L وتكون الصورة البروتونية لغاز كبريتيد الهيدروجين الأكثر فاعلية في تثبيط غاز N₂O ويكون تفاعل التثبيط عكسي .

*النحاس : نقص النحاس يؤدي لتراكم N₂O حيث أن النحاس ضروري لإنتاج إنزيم NoS-enzyme وهذا الظاهرة قد لا تتواجد بشكل كبير في مياه الصرف حيث يتواجد النحاس في مياه الصرف ضمن العناصر النادرة التي تتواجد في مياه الصرف ولكن قد تكون الظاهرة أكثر وضوحا في التربة من مياه الصرف .

*مصدر الكربون الخارجي في المحطات التي تستخدم مصدر خارجي للكربون لزيادة كفاءة إزالة النيتروجين : يوجد فروق بسيطة تعتمد على نوع مصدر الكربون ليست ذات تأثير كبير

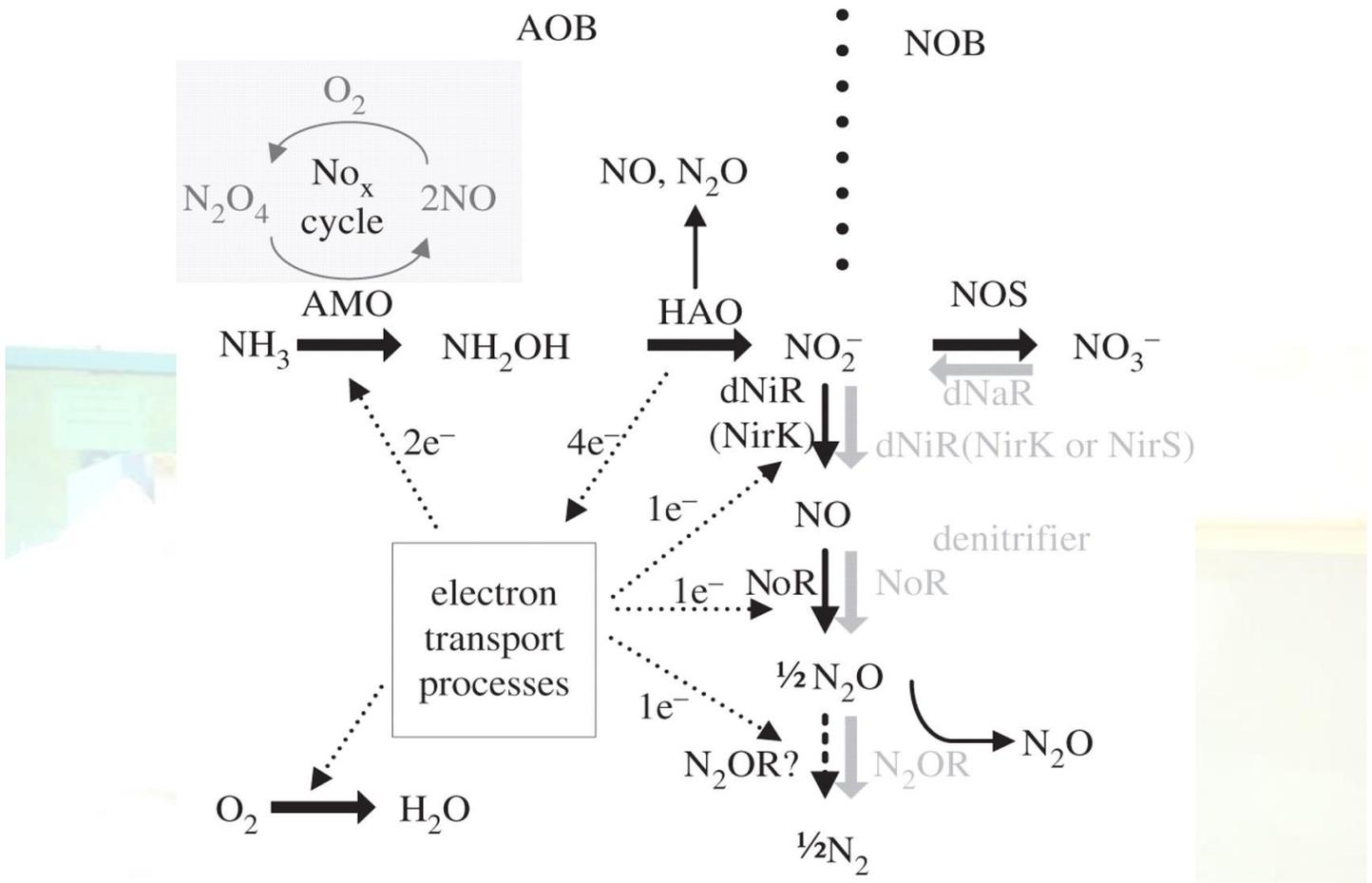
*مصدر الكربون الداخلي : كما ذكرنا تستخدم البكتيريا PHA كمصدر للكربون في عملية النترية العكسية المصحوبة بعملية إزالة الفوسفور وقد لوحظ في حالة ما يكون مصدر الكربون الخارجي محدود تستخدم البكتيريا PHA كمصدر لنمو الخلايا ويبدأ N₂O في التراكم وبالتالي يصبح معدل استهلاك PHA هو

الخطوة المحددة لتراكم N_2O والتي توقف التنافس على الألكترونات بين انزيمات النترية العكسية وتعتبر هذه آلية محتملة لإنبعاث N_2O بواسطة البكتيريا على المركبات العضوية المختزنة في خلاياها كما يحدث في المعالجة البيولوجية التي تستلزم النترية العكسية مع إزالة الفوسفور والتي ينمو خلالها بكتيريا DPAO's و DGAO's

*التنافس على الألكترونات : التأثير السلبي للتواجد المتزامن لأكاسيد النيتروجين المختلفة (NO_2^- و NO_3^- و N_2O) على معدلات إختزالها أثناء النترية العكسية يحدث أثناء إنخفاض نسبة COD/N وذلك للبكتيريا غير ذاتية التغذية التي تقوم بالنترية العكسية مستخدمة مصدر خارجي للكربون كمانح للألكترونات وهذا ما يسمى التنافس على الألكترونات وقد يحدث ذلك في حالتي توافر الكربون كمادة محددة أو إنخفاض تركيزها على السواء مع العلم أن تزايد الكربون يزيد من تراكم N_2O وليس من الواضح حتى الآن أنه في حالة استخدام PHA كمصدر للكربون أنه يؤثر على التنافس للإلكترونات وتراكم N_2O وإنتاجه .

2-8-4 المسارات الحيوية لبكتيريا أكسدة الأمونيا وإنتاج NO_2^- و NO_3^-

في عملية النترية يتم أكسدة الأمونيا عن طريق استخدام بكتيريا أكسدة الأمونيا AOB مستخدمة الأكسجين الجزيئي وينتج أثناء ذلك NO_2^- و NO_3^- كما ذكرنا بالتفصيل في عملية النترية ؛ تقوم AOB بأكسدة الأمونيا في خطوتين وفي الأولى ينتج هيدروكسيل الأمين NH_2OH والذي يتأكسد إلى NO_2^- في الخطوة الثانية ؛ ثم تقوم بكتيريا أكسدة النيتريت NOB بأكسدة NO_2^- إلى نترات NO_3^- كما في الشكل التالي :



وبالرغم من أن كل من N_2O و NO ليسا مركبين وسيطين في في المسار الأيضي للنترة إلا ان إنتاجهم يتم في الخطوة الأولى من النترة عندما تتأكسد الأمونيا إلى نيتريت عن طريق AOB ويتم ذلك بطريقتين الأولى المسار الحيوي لأوكسدة هيدروكسيل الأمين حيث ينتج كل من N_2O و NO كمركبان وسيطان لأوكسدة هيدروكسيل الأمين لشق نيتروسيل نشط (nitrosyl radical) (NOH) ثم إلى NO_2^- أو عن طريق الأوكسدة الكيميائية لهيدروكسيل الأمين ؛ والطريقة الثانية من خلال مسار النترة / النترة العكسية حيث يختزل NO_2^- عن طريق AOB في ظروف لاهوائية $anoxic$ أو زيادة تركيز NO_2^-

3-8-4 العوامل التي تؤثر على إنتاج N_2O أثناء أكسدة الأمونيا عن طريق AOB

*تركيز NO_2^- والذي يعتبر منتج سام للأوكسدة الهوائية للأمونيا عن طريق AOB ويعتبر معيار مهم يؤثر على إنبعاث N_2O عن طريق هذه البكتيريا وبزيادة عملية النترة/ النترة العكسية يزيد إنبعاث N_2O بزيادة

تركيز NO_2^- في المياه التي يكون تركيز الأمونيا فيها منخفض ويقل الإنبعاث عندما تتأكسد كل النيتريت للنترات

*الهيدروكسيل أمين : هو مركب وسيط في أكسدة الأمونيا وهو سام للعديد من أنواع البكتيريا وبالرغم من أن بكتيريا AOB له قدرة على استيعابه بدرجة أكبر بكثير من غيرها إلا أن تراكمه يقلل من معدل أكسدة الأمونيا ويحسن من انتاج و إنبعاث N_2O عن طريق مسار أكسدة هيدروكسيل الأمين الأيضي ؛ وعندما يكون تركيز الأكسجين الذائب صفر في الحوض اللاهوائي anoxic يقل انبعاث N_2O .

*درجة الحرارة : تؤثر درجة الحرارة على معدل أكسدة الأمونيا وقد وجد أن أفضل درجة حرارة لبكتيريا أكسدة الأمونيا هي 30°C كما تؤثر درجة الحرارة على إنزيمات إنبعاث N_2O .

*تركيز أيون الأمونيوم NH_4^+ : نسبة تركيز $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ عامل مؤثر جدا على انبعاث N_2O و NO لبكتيريا أكسدة الأمونيا في الظروف الهوائية وأيضا اللاهوائية anaerobic وقد وجد ان انبعاث الغاز يزيد في مدى رقم هيدروجيني $\text{PH}= 6.5-8$ الذي يتواجد به ايون NH_4^+

*الرقم الهيدروجيني :معدلات انتاجية N_2O تتغير على مدى رقم هيدروجيني $\text{PH}= 5.4-9.5$ وأعلى انتاجية تكون عند $\text{PH}= 8.5$ وعند تغير الرقم الهيدروجيني تتغير المعايير الأخرى مثل تركيز الأمونيا الحرة و N_2O الحر وهذا يوضح ان N_2O وليس NO_2^- هو مكتسب الألكترونات الحقيقي لبكتيريا النترتة في مسار النترتة لبكتيريا AOB العكسية ؛ وقد وجد أيضا انخفاض في معدل انتاج N_2O عندما يزيد الرقم الهيدروجيني ويرجع ذلك لقلة N_2O الحر المتاح لخلايا بكتيريا AOB .

*الأكسجين الذائب : خلاصة الدراسات والتجارب المخبرية أنه عند أي مستوى من الأكسجين الذائب كلما زاد تركيز NO_2^- كلما زادت إنتاجية غاز N_2O وعلى العكس أيضا وجد أنه عند اي مستوى من NO_2^- كلما زاد تركيز الأكسجين الذائب كلما قل إنتاجية غاز N_2O ؛ كما وجد أن انبعاث NO يمثل 0.2% من حمل النيتروجين الكلي الوارد للمحطة ويتم هذا من خلال بكتيريا AOB أثناء النترتة العكسية .

4-8-4 إنتاجية الميثان NH4 methane production

ينتج الميثان في الظروف اللاهوائية anaerobic من خلال عملية تستغرق أربعة خطوات الأولى يتم فيها التحلل المائي للمواد العضوية المتبلمرة وتحول لمواد عضوية بسيطة التركيب وينتج أثناء ذلك كمية كبيرة من غاز الهيدروجين وهذه الخطوة تسمى التحلل المائي hydrolysis ؛ الخطوة الثانية هي خطوة التخمض acidogenesis وتسمى كذلك لأنه ينتج فيها الأحماض الدهنية الطيارة VFA's كما ينتج الكحول والهيدروجين وثاني أكسيد الكربون والخطوة الثالثة ينتج فيها الأسيتات وتسمى لذلك acetogenesis كما ينتج الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون نتيجة تخمر بعض المركبات العضوية البسيطة مثل اللاكتات والبيوتيرات والبروبايونات كما يمكن ان تنتج الأسيتات من الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون والخطوة الرابعة هي خطوة إنتاج الميثان وتسمى methanogenesis وتنتج من نشاط بكتيريا الميثان methanogens ويوجد منها نوعين هما الأول hydrogenotrophic methanogens التي تحول الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون إلى ميثان والثاني acetotrophic methanogens وهي تحول الأسيتات إلى ميثان وثاني أكسيد الكربون

4-8-5 الإنبعاثات المباشرة من غازات الإحتباس الحراري من محطات معالجة مياه الصرف

إلى الآن لم يتم تحديد الأسباب الحقيقية بشكل دقيق ونهائي والتي تؤدي لإنبعاث هذه الغازات من محطات المعالجة ويرجع ذلك إلا ان محطات المعالج تختلف في طرق تصميمها لعمليات المعالجة البيولوجية كما أن طرق القياس والمتابعة تختلف كل يوم وتتطور فيظهر بعض التناقضات في استنتاجات اسباب انبعاث هذه الغازات ؛ ومع ذلك تم وضع يسمى عامل الإنبعاث وهو يعبر عن كمية نيتروجين النيتروس المنبعث N_2O / N حمل النيتروجين وهو يتراوح بين 1.8% - 0.01% N₂O/TNK منه يمكن تقييم أو حساب معدل إنبعاث الغاز ويكون معدل انبعاث الغاز في المناطق المهواه 2-3 ضعف الإنبعاث في المناطق الغير مهواه ؛ كما لوحظ أنه يوجد تغيرات نهائية كبيرة وذلك بسبب التغيرات في حمل النيتروجين الوارد وقد وجد أن كتلة الإنبعاث ترتبط بالحالة التي يتواجد فيها الحمل النيتروجيني الكلي ففي الحالة الغازية يحدث زيادة في الإنبعاث قدرها 0.036% عن النيتروجين الذائب في الحمل الوارد (بنسبة تمثل 0.1% من الحمل الكلي للنيتروجين

الوارد) ؛ وأكدت الأبحاث الأخيرة 2016 التي أخضعت محطات معالجة لمراقبة طويلة أن التغير النهاري في انبعاث غاز N_2O يرتبط ارتباط قوي بالتغير في حمل الأكسجين الحيوي الممتص BOD وحمل نيتروجين الأمونيوم NH_4-N لحوض التهوية (المنطقة المهواه من الحوض) وقد وجد أن عامل الانبعاث الدوري للغاز يصل 1.9% من حمل النيتروجين الوارد ؛ زكما قلنا يرجع الاختلاف في النتائج التي تم الحصول عليها لعامل انبعاث الغاز إلى الاختلاف في طرق التصميم والشكل الفيزيائي للمحطات وإختلاف أنظمة المعالجة .

بالنسبة للميثان ينتج من خلال احتباسه أو اصطياده عند دخول المحطات بعد تولده في شبكات الصرف أو ينبعث نتيجة تكونه في مراحل المعالجة اللاهوائية بالمحطات مياه الرجيع التي تأتي من الهواضم اللاهوائية في المحطات والتي يعاد تدويرها لمدخل المحطة لإعادة المعالجة ؛ يتم معالجة جزء من الميثان في أحواض التهوية والبعض يتحرر للجو وقد وجد أن 8% من الميثان الذائب في المياه الواردة للمحطة التي تعمل بنظام التدفق الدفقي يتم أكسدته مما يخفض من تركيز الميثان ؛ ويعود 3/4 الميثان الكلي المنبعث في المحطات إلى الميثان المتكون في الهواضم من الحماة الابتدائية والثانوية والذي يخرج مع المياه الرجيع من الهواضم ؛ وفي محطات تعمل بنظام التدفق الدفقي ونظام الكاروسيل (تهوية مطولة) وجد علاقة بين الانبعاث النهاري للميثان ودرجة الحرارة الجوية كما وجد في أحدث دراسة لهذين النظامين أن انبعاث غاز N_2O هو $28g N-$ $N_2O/kg TNK_{infl}$ و وجد أن أن انبعاث كل من CH_4 و N_2O يزيد عن انبعاث ثاني أكسيد الكربون الغير مباشر من استهلاك الكهرباء .

الفصل الخامس



المعدات الميكانيكية

1-5 تصنيف المضخات بالمحطة واستخداماتها في أنظمة معالجة مياه الصرف الصحي

يتم تصنيف المضخات حسب كيفية اضافتها طاقة للمائع او السائل الذي يتم ضخه وهي طبقا لذلك اما مضخات حركية (ديناميكية kinetic (dynamic) وتسمى أيضا المضخات الديناميكية الدوارة وهي مضخات تضيف طاقة متواصلة للمائع او السائل ومن اشهرها مضخات الطرد المركزي centrifugal pump وتستخدم في نقل السوائل مثل المياه المعالجة ومياه الصرف الخام ويمثلها كل المضخات الغاطسة في المحطة ؛ ومضخات الإزاحة displacement pumps وم أمثلتها في المحطة مضخات تغذية الديكانتر في وحدة تخفيض المحتوى المائي للحمأة (وحدة نزح المياه من الحمأة) .

كما يمكن تصنيف المضخات حسب عدد المراوح impellers فمنها أحادية ومنها متعددة ؛ كما يمكن تقسيمها طبق لوضع العمود رأسي أو أفقي ؛ أو تقسيمها طبقا للرفع (رفع منخفض $H < 15m$ أو متوسط $15m < H < 40m$ ؛ أو مضخة ذات سرعات عالية تربونية $H > 40m$

نوع المضخة	الوظيفة	نوع الإستخدام
طاردة مركزية، محورية ومختلطة	لرفع المياه من المصدر إلى عمليات المعالجة	خدمة بسيطة
طاردة مركزية، محورية ومختلطة	لضخ المياه تحت ضغط إلى خط الطرد الصاعد	خدمة شاقة
إزاحة موجبة	لإضافة الجرعة المطلوبة من المحاليل الكيميائية إلى عمليات المعالجة المختلفة	التغذية بالكيماويات
إزاحة موجبة أو طاردة مركزية	لضخ المياه من نقاط جمع العينات إلى المختبر أو إلى جهاز جامع العينات الأوتوماتيكي	أخذ عينات
إزاحة موجبة أو طاردة مركزية	لضخ الحمأة المترسبة في أحواض التنقية إلى أماكن	الحمأة

مضخات حلزونية.	معالجتها أو التخلص منها لإعادة الحمأة الي أحواض التهوية (الحمأة المعادة)	
----------------	--	--

2-5 أنواع المضخات الطاردة المركزية Centrifugal pumps types

1-2-5 تصنيف المضخات الطاردة المركزية طبقا للمروحة

تنقسم المضخات الطاردة المركزية المستخدمة في محطات تنقية مياه الشرب ومعالجة مياه الصرف الصحي طبقا لنوع المروحة impeller إلى أربعة أنواع

*مضخة قطرية التدفق radial flow pump

تتميز المضخة قطرية التدفق بالضغط العالي ويتم تصميم المروحة بحيث تحقق ضغط عالي وتدفق أقل وتستخدم هذه المضخات في محطات تنقية مياه الشرب لكي تحقق ضغط مناسب لطول الشبكات ويكون تصميم المروحة مغلق وإتجاه سريان المياه رأسي بالنسبة لعمود المضخة

*مضخة التدفق المحوري axial flow propeller pump

وتتميز بأنها تعطي تدفق عالي وضغط منخفض low head وتستخدم في محطات الصرف الصحي وتشبه المروحة رفاس المركب ويكون سريان المياه على طول محور العمود

*مضخة التدفق المختلط mixed flow propeller pump

وهي تعطي تدفق مثل المحورية وضغط مثل القطرية أو تدفق منخفض عند ضغط مرتفع high head وهي تنقل المياه من مكان إلى مكان له نفس الضغط المانومتري ويكون الفرق بين رفع السحب والطردي فيها صفر.

*مضخة مروحية propeller pump

وهي تحقق تدفق عالي ولا يهم الرفع وتستخدم في النقل من حوض لآخر كما هو موجود في مضخات إعادة التدوير من الحوض الهوائي للحوض اللاهوائي في عملية النترة / النترة العكسية القبلية يتوقف إختيار المضخة على الهدف من إستخدامها ومكان خدمتها بالمحطة سواء كانت محطة مياه شرب أو مياه صرف .

5-2-2 أداء المضخة pump performance

عند إختبار مضخة ما يوجد العديد من الإختبارات التي يجب أن تتم بجانب الإختبار الفيزيائي للمضخة فإذا كنت المضخة صدأة أو تحدث ضوضاء مثلا فأنت تحتاج للعديد من القيم لكي تستطيع القول أن المضخة تؤدي كما ينبغي لها أن تؤدي وذلك يحتاج التعرف على عدة مجموعات من القيم عند فحص أداء المضخة وهي المصطلحات الهيدروليكية والمصطلحات الكهربائية والمصطلحات الميكانيكية وخواص الموائع .

5-2-3 المصطلحات الهيدروليكية hydraulic terms

*التدفق flow وهو كمية السائل التي تمر من خلال مضخة في زمن محدد ؛ وعندما نكون معينين بقراءة الداء يجب أن نفرق بين معيارين من التدفق الأول التدفق الحجمي Q volume flow وتدفق الكتلة mass flow Qm .

*التدفق الحجمي وهو التدفق الذي يمكن قرائته من منحنى المضخة أو بطريقة أخرى أن المضخة تستطيع تحريك حجم في وحدة الزمن ويقاس m^3/h بغض النظر عن كثافة السائل ؛ وعندما يكون السائل هو المياه يكون حجم التدفق هو المعيار الأهم .

يعرف تدفق الكتلة بأنه الكتلة التي تحركها المضخة من السائل في وحدة الزمن وتقاس kg/s ويكون للحرارة في هذه الحالة تأثير واضح حيث تتأثر كثافة السائل بدرجة الحرارة ؛ وبالتالي في أنظمة التسخين والتبريد والتكييف تكون قيمة تدفق الكتلة هامة لأن الكتلة حاملة للطاقة .

$$Q = \frac{Q_m}{\rho}$$

*الضغط P هو القوة لوحدة المساحة وهو إما ضغط إستاتيكي static pressure P_{sta} أو ضغط ديناميكي dynamic pressure P_{dyn} أو الضغط الكلي total pressure P_{tot} ويكون :

$$P_{tot} = P_{sta} + P_{dyn}$$

*يعرف الضغط الإستاتيكي بأنه الضغط المقاس بواسطة عداد ضغط موضوع عموديا على مسار التدفق أو في سائل غير متحرك

*الضغط الديناميكي ينتج من سرعة السائل ولا يمكن قياسه بعداد الضغط العادي ولكن يمكن حسابه من المعادلة التالية :

$$P_{dyn} = 0.5 * \rho * v^2$$

حيث هي ρ كثافة السائل و v هي سرعة السائل .

يمكن تحويل الضغط الديناميكي لضغط إستاتيكي بتخفيض السرعة والعكس ؛ وكلما انتقل السائل من قطر أصغر لقطر أكبر تقل السرعة والعكس فلو فرضنا أن السائل ينتقل من ماسورة قطرها D1 إلى ماسورة أكبر في القطر قطرها D2 فإن سرعة السائل سوف تقل بسبب إنخفاض الضغط وتتحول من $v1$ إلى $v2$ وبفرض عدم وجود إحتاك في الماسورة يكون مجموع الضغط الديناميكي والإستاتيكي ثابت ويعطى بالعلاقة :

$$P1 + (0.5 * \rho * v1^2) = P2 + (0.5 * \rho * v2^2)$$

وبالتالي الزيادة في قطر الماسورة سوف يزيد من الرفع الإستاتيكي المقاس بواسطة عداد الضغط والمعبر عنه P2 .

*في معظم أنظمة الضخ يكون تأثير الضغط الديناميكي Pdyn ذو تأثير ضعيف على الضغط الكلي ؛ وعلى سبيل المثال إذا كانت سرعة المياه 4.5m/s فإن الضغط الديناميكي يكون 0.1 bar والذي يعتبر قيمة ضعيفة في أي نظام ضخ .

*يقاس الضغط بوحدات مختلفة مثل نيوتن/م² (N/m²) و pa و البار (10⁵pa) أو psi(lb/in²) ؛ وعند قياس الضغط يكون من المهم معرفة نقطة مرجعية لقياس الضغط ؛ ويوجد نوعين من مهمين ذات علاقة بقياسات الضغط هما الضغط المطلق والضغط المقاس بالعداد ؛ ويعرف الضغط المطلق Pabs بأنه الضغط فوق التفريغ المطلق أو عند ضغط جوي يساوي صفر atom=0 وتستخدم قيمة الضغط المطلق في حسابات التكهف للمضخات .

Pressure units						
	Pascal (Pa)	Bar (bar)	Technical atmosphere (at)	Atmosphere (atm)	Torr (Torr)	Pound-force per square inch (psi)
1 Pa	≡ 1 N/m ²	10 ⁻⁵	1.0197×10 ⁻⁵	9.8692×10 ⁻⁶	7.5006×10 ⁻³	145.04×10 ⁻⁶
1 bar	100,000	≡ 10 ⁶ dyn/cm ²	1.0197	0.98692	750.06	14.5037744
1 at	98,066.5	0.980665	≡ 1 kgf/cm ²	0.96784	735.56	14.223
1 atm	101,325	1.01325	1.0332	≡ 1 atm	760	14.696
1 torr	133.322	1.3332×10 ⁻³	1.3595×10 ⁻³	1.3158×10 ⁻³	≡ 1 Torr, ≈ 1 mmHg	19.337×10 ⁻³
1 psi	6.895×10 ³	68.948×10 ⁻³	70.307×10 ⁻³	68.046×10 ⁻³	51.715	≡ 1 lb/in ²

Example reading: 1 Pa = 1 N/m² = 10⁻⁵ bar = 10.197×10⁻⁶ at = 9.8692×10⁻⁶ atm = 7.5006×10⁻³ torr = 145.04×10⁻⁶ psi

ضغط العداد gauge pressure يعرف بأنه الضغط الزائد عن الضغط الجوي (1atm) وعادة يطلق على الضغط بصفة عامة ضغط العداد لأن معظم العدادات واحساسات تقيس الفرق بين ضغط النظام والضغط الجوي .

5-2-4 رفع المضخة the pump head H

رفع المضخة هو تعبير عن إمكانية قيام المضخة في رفع السائل ويقاس بالمتر ولا يعتمد على كثافة السائل ويرتبط بالضغط باعلاقة التالية :

$$H = \frac{P}{\rho * g}$$

حيث H الرفع بالمتر m و P الضغط بوحدة pa(N/m²) و ρ كثافة السائل kg/m³ و g تسارع الجاذبية m/s² ؛ وعادة يقاس الضغط بالبار حيث 1bar = 10⁵pa

من العلاقة يتضح أن رفع المضخة يعتمد على نوع السائل ولنفس المضخة سيكون هناك أكثر من رفع حسب السائل وبالتالي نقطة تشغيل duty point مختلفة لكل سائل

5-2-5 تحديد رفع المضخة determination of pump head

يتم تحديد رفع المضخة بقياس الضغط بواسطة عداد ضغط يركب عند فلنش سحب المضخة ويعطي ضغط السحب P1 وآخر عند فلنش طرد المضخة ويعطي ضغط الطرد P2 ثم يحول الضغوط إلى رفع ؛ وإذا وجد فرق جيوديكى geodetic deference (ويقصد بالجيوديكى أقصر خط بين نقطتين يقاس بينهما الضغط) في الرفع H بين نقطتين على بعدين متساويان القياس فليزيم تعويض هذا الفرق ؛ أما إذا كانت المقاسات مختلفة للنقطتين فليزيم تصحيح الرفع ويتم حساب الرفع الحقيقي للمضخة من العلاقة التالية :

$$H = \frac{P2-P1}{\rho.g} + \frac{V2^2-V1^2}{2g} + h2-h1$$

حيث H هو الرفع الحقيقي للمضخة بالمتر و P الضغط عند فلنشتي الضغط والطرد pa(N/m²) و كثافة السائل kg/m³ و g تسارع الجاذبية m/s² ؛ و h هو الإرتفاع الجيوديكى بالمتر و v سرعة السائل .

*يتم حساب سرعة السائل من العلاقة التالية :

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

حيث Q هو التدفق الحجمي m^3/s و D قطر السحب والطرْد ؛ وجمع المعادلتين تنتج معادلة نجد فيها أن الرفع يعتمد على العوامل التالية :

$$H = \left(\frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + h_2 - h_1 + \frac{8Q^2}{g\pi^2} \right) * \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} * \frac{1}{D_2^4} - \frac{1}{D_1^4}$$

ويكون التصحيح الراجع للفرق بين أو في حالة القطر المختلفة للسحب والطرْد سببه هو الفرق في الضغط الديناميكي (يختلف الضغط الديناميكي كما ذكرنا بتغير القطر الذي يسير فيه السائل) ؛ يمكن حساب التصحيح من المعادلة السابقة ولكن من الأسهل أيضا حسابه من النوموجرام ؛ الصيغة السابقة تستطيع حساب رفع المضخة الحقيقي إلا أنه على أرض الواقع إذا وجد فرق في منسوب عداد قياس الضغط في الطرد (مثلا عداد الطرد أعلى من عداد قياس السحب) وإختلاف في أقطار الطرد والسحب سوف تعطي المعادلة قياسات قد تكون مختلفة بدرجات - حسب الفرق في المنسوب والفرق في قطري الطرد والسحب - عن أداء المضخة الحقيقي ؛ أما إذا وضعت العدادات في نفس المنسوب أو تم استخدام عداد ضغط تفاضلي (ويعرف الضغط التفاضلي ΔP بأنه فرق الضغط المقاس بين نقطتين على العداد) فلن يكون هناك ضرورة للتعويض في الفرق بين ($h_2 - h_1$) وإذا كانت أقطار السحب والطرْد متساوية فإنه يمكن استخدام صيغة مبسطة في هذه الحالة لحساب رفع المضخة الحقيقي :

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g}$$

5-2-6 ضغط النظام system pressure

ضغط النظام أو المنظومة هو الضغط الإستاتيكي عند نقطة معينة في النظام عندما تكون المضخات غير عاملة أو في وضع الإيقاف ؛ ويعتبر ضغط النظام ذو أهمية في الأنظمة المغلقة ؛ ويعبر عن ضغط النظام بالضغط الإستاتيكي H_{sta} بالمتري عند أدنى نقطة إنخفاض ويجب أن يكون دائما عند هذه النقطة أعلى من إرتفاع النظام لكي يتم تحقيق تعبئة النظام بالسائل وتحقيق إمكانية تفرغيه بسهولة .

3-6 التكيف وضغط السحب (الشفط) الموجب الصافي

cavitation and net positive suction head NPSH

يعرف NPSH بأنه مقياس كمية الطاقة عند سحب المضخة المتاح واللازم لبذل ضغط على السائل (الرفع head طاقة) ؛ تتحول الطاقة الكهربائية عن طريق الموتور الكهربائي لطاقة حركية وعندما تبدأ مروحة المضخة في الدوران تحول الطاقة الحركية لضغط ؛ وبدخول السائل من عين المضخة إلى قوقعة المضخة أو لعين المضخة ينتقل السائل من ضغط أعلى لضغط أقل في قوقعة المضخة ويحدث تفريغ في هذه المنطقة مما يؤدي لتبخير جزء من السائل ؛ ويعرف ضغط السحب الموجب الصافي بأنه الضغط المطلق لعمود السائل عند عين المضخة (لاحظ أن الضغط عند عين المضخة قد يكون سالبا أو موجبا طبقا لموقع المضخة من خزان السحب أعلى منسوب المضخة أو أسفل منسوب المضخة أو قد تكون المضخة غاطسة ولاحظ أيضا أن تعبير الصافي المستخدم لأنه تضاف قيم سالبة وأخرى موجبة للضغط) مطروحا منه الضغط البخاري للسائل وحاصل الطرح يمثل ضغط السحب الموجب الصافي المتاح $NPSH_{av}$ ؛ وأثناء تمدد السائل داخل القوقعة يفقد طاقة وهذا الفقد في الطاقة يسمى ضغط السائل ويعرف أنه ضغط السحب الموجب الصافي المطلوب $NPSH_{req}$ ويعتمد على تصميم المضخة وقطر المروحة ونوع المروحة وتصرف المضخة وسرعة المروحة rpm .

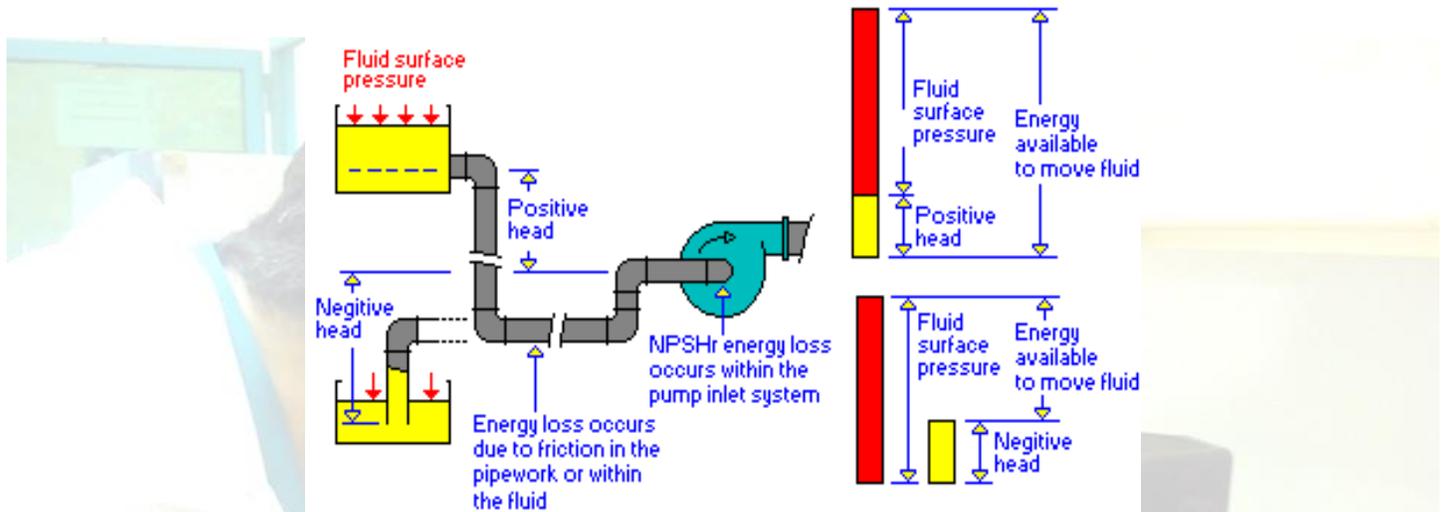
1-3-5 الضغط عند مدخل المضخة

الضغط عند مدخل أو عين المضخة هو مجموع الضغوط التالية :

*الضغط الجوي على سطح السائل

*الفقد في المواسير نتيجة الإحتكاك والفقد في القطع الخاصة ويمكن حساب NPSHav كالتالي :

$$\text{NPSHav} = \text{fluid surface pressure} + \text{positive head} - \text{friction losses} - \text{vapour pressure}$$



أو :

$$\text{NPSHav} = \text{fluid surface pressure} - \text{negative head} - \text{friction losses} - \text{vapour pressure}$$

يمكن تعريف NPSHav أيضا بأنه أقل ضغط لازم عند منفذ الشفط أو عين المضخة ليحمي المضخة من التكيف وهو دالة في النظام المصمم للرفع بينما NPSHreq دالة في المضخة ويتم حسابة من قبل الشركة المصنعة ويجب ان تكون النسبة بين $\text{NPSHav} / \text{NPSHreq} \geq 1.5$

2-3-5 حسابات خطر التكيف calculation of the risk of cavitation

يتم حساب أعلى رفع سحب للمضخة لكي يمكن من خلاله تجنب مخاطر التكيف للمضخة وتستخدم المعادلة التالية لحساب ذلك :

$$H_{\text{max}} = H_b - H_f - \text{NPSH} - H_v - H_s$$

حيث H_{max} هو maximum suction head أقصى رفع سحب للمضخة و H_b الضغط الجوي في موقع المضخة (يختلف الضغط الجوي باختلاف الإرتفاع عن سطح البحر) وهو يمثل أعلى رفع سحب نظريا و H_f الفواقد بسبب الإحتكاك في خط السحب و NPSH ضغط أو رفع السحب الموجب الصافي (ويمكن قراءته على منحنى NPSH عند أعلى تدفق تشغيلي)

وتشير قيمة NPSH إلى أي حد تكون المضخة غير قادرة على خلق التفريغ المطلق يجعلها قادرة على رفع عمود من المياه إرتفاعه 10.33m فوق منسوب سطح البحر ؛ والجدول التالي يوضح العلاقة بين المناسب المختلفة فوق سطح البحر وتأثيرها على الضغط البارومتري ودرجة الحرارة :

Height above sea level m	Barometric pressure P_b bar	Water column H_b m	Boiling point of water $^{\circ}C$
0	1.013	10.33	199
500	0.935	9.73	96
1000	0.899	9.16	93
2000	0.795	8.10	93

وينقسم NPSH ضغط أو رفع السحب الموجب الصافي إلى ضغط السحب الموجب الصافي المطلوب $NPSH_{req}$ و ضغط السحب الموجب الصافي المتاح $NPSH_{av}$.

قيم $NPSH_{req}$ يتم تحديدها عن طريق الشركة المصنعة للمضخة في مختبراتها الفيزيائية بينما $NPSH_{av}$ يخضع للنظام وما يشمله من فواقد في خطوط الطرد والقطع الخاصة والوصلات والتغير في أقطار المواسير وغيرها وسوف نتحدث لاحقا بالتفصيل عن ذلك .

ولتجنب التكهف يجب أن يكون $NPSH_{req} > NPSH_{av}$ ولذلك يجب حساب $NPSH_{av}$ للنظام ومقارنته مع $NPSH_{req}$ لإختيار المضخة المناسبة .

يمكن التعبير بصيغة رياضية مختصر عن $NPSH_{av}$ كالتالي :

$$NPSH_{av} = h_{bar} + h_s - h_{vap} + h_f$$

حيث h_{bar} هو الضغط البارومتري لعمود السائل فوق سطح البحر بالمتر و h_s هو الضغط أو الرفع الإستاتيكي للسائل أو المياه الداخلة فوق عين المروحة بالمتر (إذا كانت المضخة غاطسة وفي هذه الحالة تكون قيمتها دائما موجبة ؛ وتكون سالبة لو منسوب المياه أسف سحب المضخة) و h_{vap} هو الضغط البخاري للمياه أو السائل عند أقصى درجة حرارة متوقعة بالمتر و h_f هو فواقد الإحتكاك في خط سحب (إذا كانت المضخة غاطسة لن يكون هناك فواقد في خط السحب $h_f = 0$) وتكون المعادلة :

$$NPSH_{av} = h_{bar} + h_s - h_{vap}$$

المضخة الطاردة المركزية هي ماكينة مسئولة عن منح الطاقة للسائل لغرضين أساسيين الأول زيادة ضغط السائل والثاني تحريك السائل عبر المواسير وتستطيع المضخة فعل ذلك من خلال المروحة حيث يتم إعطاء الطاقة للسائل بمجرد دخوله القوقعة في شكل سرعة ؛ وعندما تتناقص السرعة تدريجيا فإن الطاقة المعطاه تتحول لضغط ؛ ولن تستطيع المضخة منح السائل خارج قوقعة المضخة الطاقة او السرعة ولذلك يجب أن يدخل السائل أولا لقوقعة المضخة ومنها لفتحات المروحة قبل أن يتم إعطاء الطاقة له ؛ وبمعنى آخر يجب أن تتوفر طاقة لإحضار السائل لعين المروحة في حالته السائلة كي تستطيع المضخة نقل الطاقة للسائل وهذه الطاقة تسمى $NPSH_{av}$ ؛ وعند تصميم المضخات يجب تحديد الخواص الفيزيائية والهيدروليكية والتي تحدد كمية الطاقة اللازمة لدفع السائل إلى عين المروحة والطاقة اللازمة كي تحقق بقاء السائل في حالته

السائل وعدم تبخره ؛ ومن العوامل التي تحدد الطاقة اللازمة للمضخة NPSHreq طبيعة عين المضخة تركيب وشكل ريش المروحة وقطر المروحة والسرعة التي ستعمل بها المروحة ؛ وكما ذكرنا أن المضخة ستعمل بشكل صحيح لتفادي التكهف إذا كان $NPSH_{av} \geq NPSH_{req}$ ؛ يتم تصميم المضخات بحيث يكون NPSHreq للمضخة مبنيا على إنخفاض في الرفع أو الضغط قدره 3% أو بمعنى آخر هي الكمية التي يتم تزويد المضخة بها والتي تحدث إنخفاض في الرفع الكلي بما لا يزيد عن 3% ويمكن للمضخات أن تعمل في أنظمة مغلقة (مثل المبادلات الحرارية أو التكييف) أو مفتوحة (مثل محطات الرفع لمياه الشرب أو الصرف الصحي) وكلا النظامين يحتوي على معوقات أو مقاومة تعيق قدرة المضخة أو تقلل منها لرفع السائل .

كل مكون من مكونات النظام سواء خطوط سحب أو طرد أو أنواع أو وصلات خاصة ..الخ يكون له مقاومة ضد تدفق السائل تؤدي إلى فقد في الضغط أو الرفع وتسمى هذه الفواقد كلها فواقد الضغط أو الرفع head losses وتستخدم المعادلة التالية لحساب هذه الفواقد :

$$\Delta H = k * Q^2$$

حيث k ثابت يعتمد على مكونات النظام التي تسبب الفواقد و Q هو التدفق عبر هذه المكونات ومن العلاقة يتضح أن الفقد في الرفع أو الضغط يتناسب مع مربع التدفق وبالتالي كلما قل التدفق في مكونات النظام سيقال الفقد في الرفع أيضا .

في الأنظمة المفتوحة كما في محطات الضخ والرفع لمياه الشرب ومياه الصرف الصحي يجب أن نميز بين نوعين من الأنظمة :

*أنظمة مفتوحة يكون فيها الرفع الجيوديكلي الكلي المطلوب موجب

*أنظمة مفتوحة يكون فيها الرفع الجيوديكلي الكلي المطلوب سالب

إذا كانت مضخة ترفع المياه من مستوى سطح الأرض إلى خزان علوي يجب أن يتوفر لها رفع أو ضغط أعلى من الرفع الجيوديكلي للمياه h حيث h الرفع من سطح المياه في الخزان الأرضي إلى سطح المياه في الخزان العلوي كما يجب أن يتوفر للمضخة الرفع اللازم للتغلب على المقاومة الناتجة من القطع والوصلات المختلفة بما فيها الإحتكاك بالمواسير أي التغلب على فواقد الإحتكاك الكلي بين الخزائين بما تحتوية من محابس وأكواع ووصلات ... الخ ويرمز له H_f ويعتمد الفقد في الضغط على كمية التدفق .

لن يكون هناك تدفق إذا كان أقصى رفع H_{max} للمضخة أقل من الرفع الجيوديكلي h وسوف يتدفق الماء فقط من الخزان الرضي للعلوي عندما يكون $H > h$ كما يوضح منحنى النظام أنه كلما قل التدفق أو تصرف المضخة قل الإحتكاك وبالتالي تقل إستهلاك الطاقة ؛ ويتوقف إستهلاك الطاقة على نوع المضخة ما إذا كانت قطرية أو مختلطة أو محورية التدفق .

1-4-5 الأنظمة المفتوحة ذات الرفع الجيوديكلي الكلي المطلوب السالب **open systems with negative geodetic head**

يوجد هذا النظام في أنظمة توزيع المياه **pressure booster systems** حيث يتم الرفع الجيوديكلي h من خزان المياه إلى المستهلكين حيث تتدفق المياه بالرغم من توقف المضخة ويكون الفرق في الإرتفاع بين منسوب المياه في الخزان وإرتفاع المياه في الخارج h فيكون التدفق مساويا Q_0 ؛ إلا ان الرفع غير كافي ليحقق التدفق المطلوب Q_1 للمستهلكين ؛ لذلك يجب على المضخة تعزيز الرفع إلى المنسوب H_1 لتعويض الفقد في الرفع نتيجة الإحتكاك H_f في النظام وتعطي منحنى قطع مكافئ **parabolic curve** يبدأ عند المحور **H-axes** عند النقطة $(0, -h)$ ويعتمد التدفق في النظام على منسوب المياه في الخزان وإذا خفضنا منسوب المياه في الخزان سينقص h

2-4-5 السرعة النوعية للسحب **suction specific speed**

السرعة النوعية هي مؤشر أداء المضخة عند أفضل نقطة أداء للمضخة BEP لمعدل تصرف المضخة مع أقصى قطر وسرعة دوران للمروحة وتستخدم لأغراض تصميمية وتوقع كفاءة المضخة وتقسيم المضخات الطاردة المركزية طبقا لقيم السرعة النوعية المرتبطة بشكل المروحة أيضا .

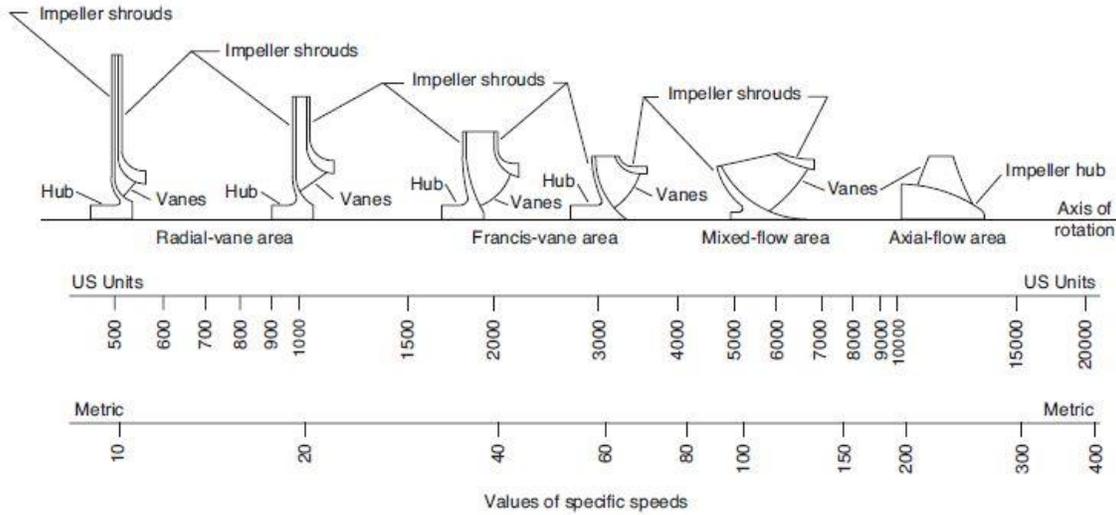


Figure 1.3.4.1 — General Impeller types

ترتبط السرعة النوعية للمضخة بسحب المضخة حيث أنها تنتج من سرعة دوران المروحة وتسمى السرعة النوعية للمضخة عند منطقة سحب المضخة بالسرعة النوعية للسحب وتتميز السرعة النوعية للسحب بالضجيج والطبقة العشوائية حول سحب المضخة مصحوبة بخبثات شديدة ؛ وترجع لأهمية تقدير السرعة النوعية للسحب هي توقع مشاكل التكهف والفرق بين السرعة النوعية للمضخة والسرعة النوعية للسحب هي أن المعادلة المستخدمة لحساب السرعة النوعية للمضخة يتم إستبدال الرفع الكلي للمضخة بالرفع أو الضغط الموجب الصافي المطلوب $NPSH_{req}$

$$Ns = \frac{N\sqrt{Q}}{NPSH_{req}^{0.75}}$$

حيث Ns هي السرعة النوعية للسحب و Q تصرف المضخة و $NPSH_{req}$ الضغط الموجب الصافي المطلوب واللازم لمنع التكهف عند درجة حرارة $20^{\circ}C$ (وبالتالي يجب إضافة الضغط البخاري للمياه أو أي

سائل آخر يتم العمل عليه واقعيا إلى NPSHreq لكي تستطيع معرفة القيمة الحقيقية التي سوف تستخدمها (ومن ثم بعد معرفة هذه القيمة يمكن توقع مشاكل التكهف من خلال إختيار مواصفات المروحة impeller والتي تحدد بدرها نوع المضخة المستخدمة :

*زاوية التدفق الداخل للمروحة وعدد الريش سوف يؤثر في هذه القيمة

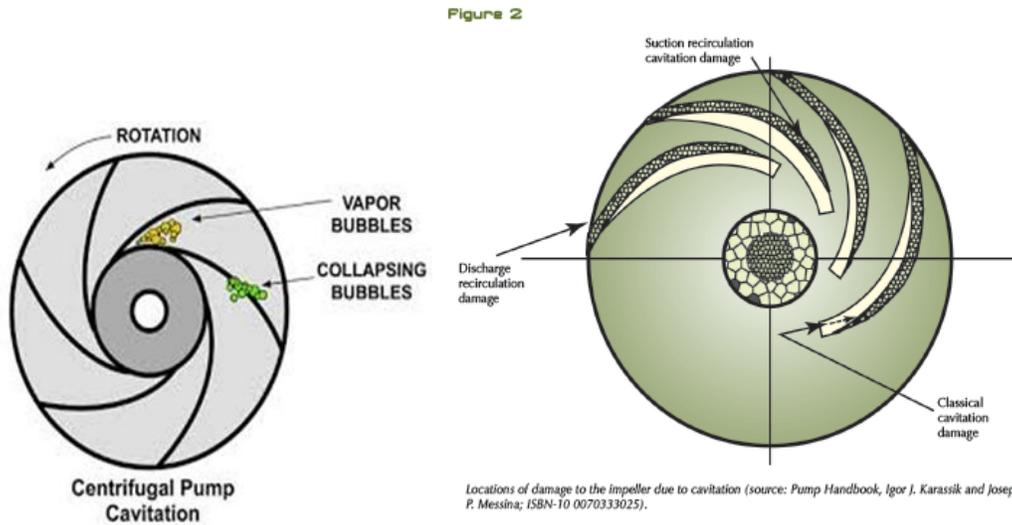
*وتكون القيمة المرغوب فيها لسرعة السحب النوعية أقل من 8500 مع المراوح المكونة من 5-7 ريش وبزاوية تدفق 17 درجة ؛ وكلما زادت زاوية التدفق كلما زادت سرعة المياه أو السائل وكلما إنخفض ضغط السحب أيضا الذي سنحصل عليه .

*لمضخات تغذية الغلايات والتكثيف تكون قيمة سرعة السحب النوعية 12000-18000 بسبب حرارة وضغط المياه وللحصول على هذه القيمة يجب تخفيض زاوية التدفق للمروحة إلى أقل من 10 درجات وتقليل عدد الريش لأقل من أربعة وتكون الريش صغيرة السمك لتخفيض الأندداد للمروحة ؛ إلا ان العيب أن هذه المروحة سوف يخفض تصرف المضخة بنسبة 50% ؛ وهذه الأرقام العالية قد تتاسب غلايات المياه حيث يكون تمدد المياه ضعيف جدا للمياه الساخنة

*إذا كان NPSHav للنظام منخفض للغاية فإنه يلزم أن تكون سرعة السحب النوعية أكبر 18000 وبالتالي يمكن استخدام مروحة محورية التدفق axial flow impeller منفصلة (تستخدم كقطعة حث inducer) يمكن استخدامها قبل المضخة المستخدمة (بين المضخة والخزان أو المصدر) لمنع التكهف أو إستخدام مضخة تدفق محوري مباشرة ويكون فيها زاوية التدفق بين 5-8 درجة بريشتين للمروحة ؛ كما يمكن تجذيب أو تقصير ريش المروحة لتقليل NPSHreq وكلما تم المحافظة على قيمة السرعة النوعية للسحب أقل من 8500 لن يحدث تكهف أو على الأقل سوف يكون حدوثه قليل جدا .

*نتيجة دوران المروحة بسرعة يحدث التفريغ الجزئي في منطقة السحب التي تقع بين عين المضخة بدء من فلنشة السحب وعين المروحة ويحدث التكهف لوقوع المضخة نتيجة التصادم العنيف بين فقاعات الهواء أو البخار المائي التي تعرضت لضغط كبير من قطرات المياه المحيطة بها وحدث لها إنفجار داخلي تولدت منه

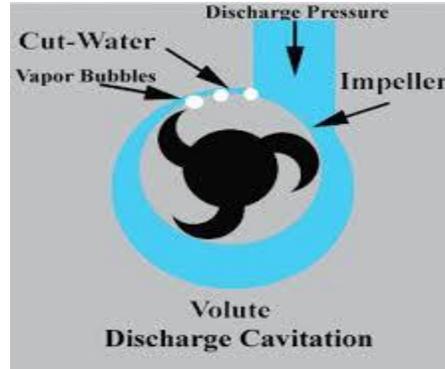
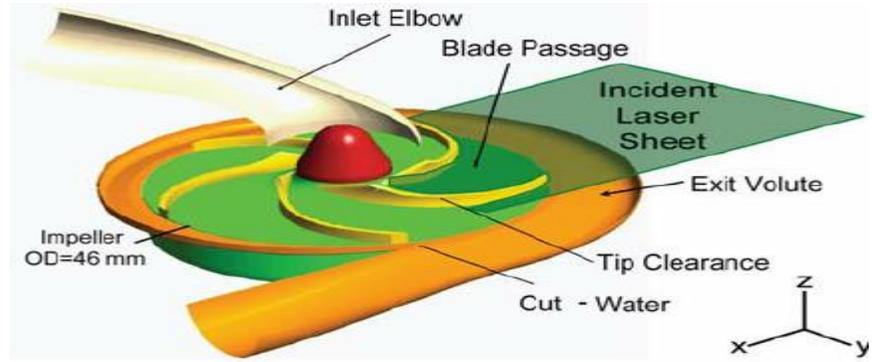
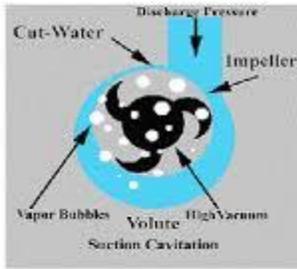
طاقة كبيرة دفعت جسيمات المياه بقوة كبيرة لتصطدم بالقوقعة محدثة تكهف وتنقير للمروحة والقوقعة على حد سواء بل ويمتد ذلك للمواسير والقطع الخاصة والمحابس أيضا ؛ يكون التنقير الحاصل لريش المروحة في مركز طرف ريشة المروحة وحول المركز ولكنه لا يمتد للمناطق السفلية القريبة من عين المروحة وتعرف هذه الظاهرة بمتلازمة مرور الريش



يمكن منع هذا التنقير أو التكهف لريش المروحة وذلك بجعل المسافة من طرف الريشة إلى



Low Pressure/High Vacuum



سطح القوقعة أو قاطع المياه cutwater من الداخل مساويا 4% من قطر المروحة للمراوح صغيرة الحجم (أقل من 355mm) و مساويا 6% من قطر المروحة للمراوح كبيرة الحجم (أكبر من 355mm) .

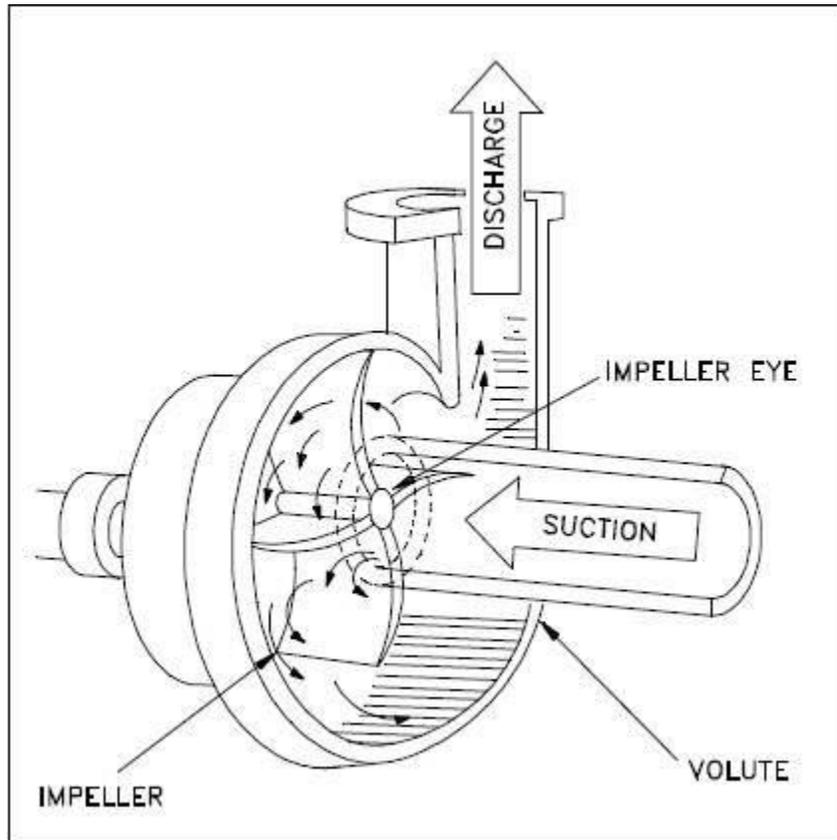
ونكرر سرعة دوران المياه تؤدي في النهاية لخلق منطقة تفريغ يتبخر في ظل هذه الظروف الماء تحت ضغط منخفض ودرجة حرارة منخفضة أيضا حيث تنخفض درجة غليان المياه ؛ تضغط قطرات المياه المحيطة ذات الضغط الأعلى على الفقاعات ويحدث الانفجار الداخلي implosion وهذه دائما مشكلة المضخات ذات السحب الموجب الصافي المطلوب NPSHreq ولذلك تم صياغة سرعة السحب النوعية لتكون مؤشرا من خلاله يتم تحديد كيفية التشغيل عند أفضل نقطة أداء BEP للمضخة لمنع مشكلة التكهف ويكون المدى المناسب لها بين 1200-1800 بالوحدة المترية أو 20000-3000 بالوحدات الأمريكية بصفة عامة ويكون لمضخات المياه بين بصفة عامة ويكون لمضخات المياه بين 1800-7400 بالوحدة المترية أو 3000-12000 بالوحدات الأمريكية .

$$N_s = \frac{N\sqrt{Q}}{NPSH^{0.75}}$$

وتؤثر زاوية التدفق لدخول الريش وعدد الريش على قيمة سرعة السحب النوعية

* يجب ان يتم تصميم خطوط السحب والطرء بحيث لا تسبب تغيير في سرعة التدفق في مكان عن الآخر كما يجب مراعاة أطوال خطوط السحب والطرء والأقطار المناسبة فمثلا يجب ان يكون طول ماسورة السحب من نقطة سحب المضخة إلى أول كوع لا يقل عن 10 مرات ضعف قطر السحب .

*في حالة دخول هواء للمضخة من الخارج يسبب حالة قريبة من التكهف يكون الهواء الممتص إلى داخل المضخة ذو تأثير ينقسم لشقين الأول يخلط مع المياه مكونا خليط مزدوج ذو وزن نوعي أقل مسببا تخفيض ضغط التفريغ للمضخة والثاني تعمل المروحة على التفريغ ودفع الهواء لعين المروحة وفي هذه الحالة إذا كان التدفق مرتفع بشكل كافي سوف تدفع المروحة الخليط عبر المروحة



وعندما يقل التدفق يتراكم الهواء عند عين المروحة ومن ثم يوقف أي تدفق جديد ؛ وإذا كانت المضخة تعمل عند نقطة أقل من BEP فإن نسبة الهواء التي سيتم التعامل معها ستقل وتستطيع المضخات الطاردة المركزية التعامل مع 0.5% من الهواء منسوبا لحجمها ؛ وعند نسبة 6% تكون آثاره كارثيه ؛ يمكن تركيب محبس لتفريغ الهواء في هذه الحالة أو زيادة قطر السحب لتقليل الفواقد مع تربيط جيد للخطوط لمنع تسرب الهواء .

ترتبط سرعة السحب النوعية بأقل تدفق Q_{min} وكلما كانت قيمة التدفق Q_{min} كبيرة لما كانت قيمة سرعة السحب النوعية كبيرة ؛ وتعتبر سرعة السحب النوعي معيار هام يعبر عن أداء المضخات خصوصا محوية التدفق ومختلطة التدفق .

يعبر عن العلاقة بين أقل تدفق وسرعة السحب النوعية بالعلاقة التالية :

$$Ns = \frac{Q * N * \sqrt{Q}}{(g * NPSHreq)^{0.75}}$$

5-5 منحنيات المضخة الطاردة المركزية Centrifugal Pump Curves

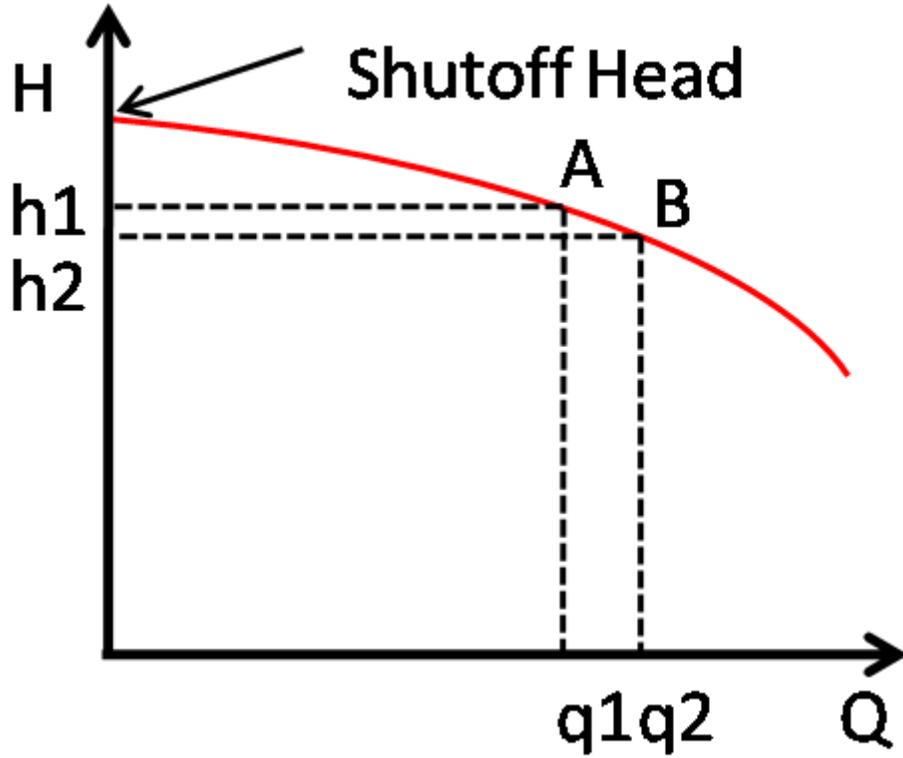
عند سرعة ثابتة للمضخات الطاردة المركزية يزداد تصرف المضخة Q كلما نقص الرفع H وعلى ذلك فإن هذه المضخات لها خاصية الضبط الذاتي self-regulation للتصرف وتعتمد القدرة الداخلة للمضخة P وبالتالي الكفاءة η وضغط السحب الموجب الصافي المطلوب $NPSHreq$ على سعة المضخة أو تصرفها ؛ ويمكن تمثيل العلاقة التي تربط بين كل هذه المتغيرات على منحنى المضخة والذي يوضح مميزات التشغيل لها .

ترسم المنحنيات بإعتبار الكثافة ρ واللزوجة ν للمياه إلا إذا نص على خلاف ذلك .

يوجد خمس منحنيات للمضخات الطاردة المركزية هي :

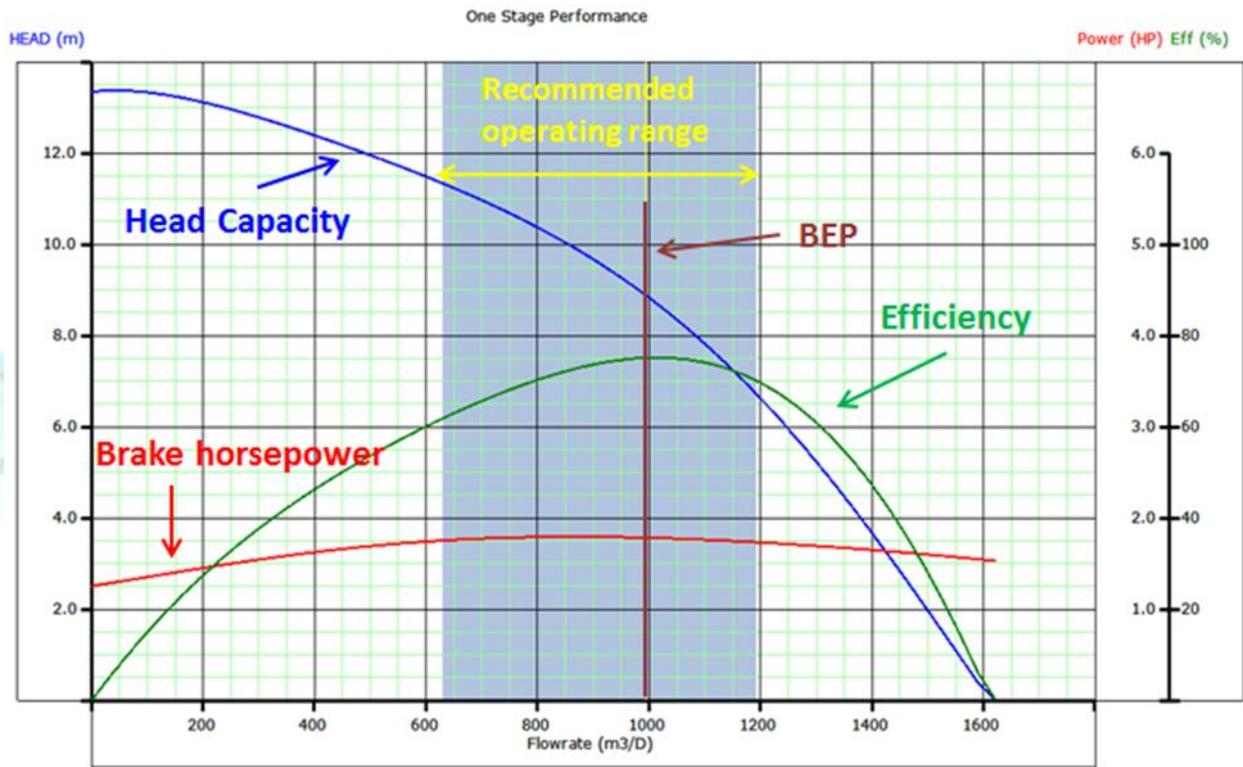
*منحنى الأداء performance curve ويسمى أيضا منحنى التدفق-الرفع Q/H curve وهو يرسم العلاقة بين الرفع الكلي للنظام (ويسميه البعض الرفع الديناميكي الكلية total dynamic head TDH) وتصرف المضخة حيث يكون التصرف أقصى ما يمكن عن رفع صفر ويكون التصرف صفر عن أقصى رفع وهاتان القيمتان يتم ذكرهما على لوحة التعريف بالمضخة حيث يكتب عليها أقصى تصرف وأقصى رفع للمضخة عند إختبارها في المعمل الفيزيائي للشركة المصنعة بإعتبار أن ضغط أو رفع السحب suction head صفر والفواقد أقل ما يمكن ويكون أقصى رفع كلي عند تدفق صفر أو تصرف للمضخة صفر ويمكن فهم ذلك أنه عند ضغط سحب صفر ورفع صفر للمنظومة تبدأ المضخة في العمل فتعطي أقصى تصرف لها وبزيادة الرفع يقل التصرف إلى أن يتوقف تدفق المياه من خط الدفع عند هذه النقطة نكون قد وصلنا لأقصى رفع للمنظومة والمناظر لتصرف صفر من المضخة والعلاقة التي تمثل على منحنى لها هي منحنى أداء المضخة والذي يمكن منه تحديد تصرف المضخة طبقا للرفع الواقعي للبيارة بعد حساب الرفع الكلي الحقيقي للنظام والفواقد لتحديد تصرف المضخة المناسب .



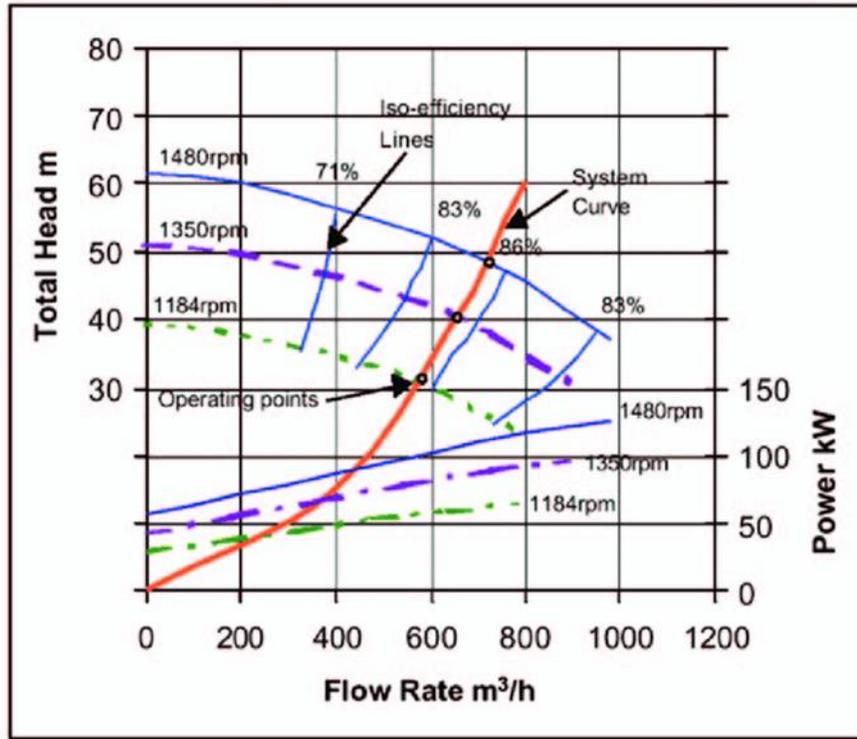


منحني الأداء للمضخة

*يوجد نقطتان مهمتان لمنحنيات المضخات الطاردة المركزية هما أفضل نقطة كفاءة للمضخة best efficiency point BEP وهي النقطة التي عندها تعطي المضخة أقصى كفاءة لها عند قطر معين للمروحة ؛ ونقطة التشغيل operation point أو تسمى أيضا duty point وتتكون منطقة التشغيل المفضلة preferred operation region POR هي المنطقة التي تظهر على منحني النظام وتمثل أفضل منطقة يتم تشغيل المضخة فيها وتختلف إختلاف السرعة النوعية للمضخة وتقع نقطة التشغيل للمضخة ضمن هذه المنطقة ؛ وقد حدد pump institute أن هذه المنطقة طبقا للسرعة النوعية للمضخة كما في الجدول التالي ؛ النقطة الأولى تظهر على منحني الكفاءة للمضخة وهو المنحني الثاني للمضخة



*منحنى الطاقة وهو يعبر عن الطاقة المستهلكة للمضخة ويعطي قيمة معينة على منحنى الأداء للمضخة عند نقطة BEP ؛ وتكون أفضل نقطة كفاءة للمضخة عند أقل طاقة مستهلكة



*منحنى NPSH وهو يعطي قيمة معينة أيضا على منحنى الأداء للمضخة عند نقطة BEP

وهو ينقسم إلى قسمين الأول $NPSH_{req}$ والذي يتم تحديده من قبل الشركة المصنعة ويعبر عن الفواقد التي تحدث نتيجة التفريغ بسبب دوران المروحة بسرعة عالية ويكون هذا التفريغ بين عين المضخة أي بداية دخول المياه لفلنشة المضخة عن السحب وعين المروحة أو مركز المروحة ؛ هذا التفريغ يسبب إنخفاض الضغط في الضغط في هذه المنطقة مما يؤدي لإنخفاض درجة تبخير المياه وتحول جزء من المياه للحالة البخارية رغم إنخفاض درجة الحرارة لمئ الفراغ الناتج من سحب الغازات الموجودة بالمياه والمياه أيضا بسرعة كبيرة ؛ تعمل هذه الظاهرة وتولد البخار على تكوين فقائيع من البخار حيث تضغط قطرات المياه على سطح هذه الفقائيع من الخارج بقوة وتحدث بها إنفجار للداخل implode مما يجعلها تصدم بقوة كبيرة المروحة وكيسة المضخة من الداخل مسببة ظاهرة التكهف ؛ يتم قياس هذا العامل في الشركة ويتم تحديده عند أقصى سرعة للمروحة .

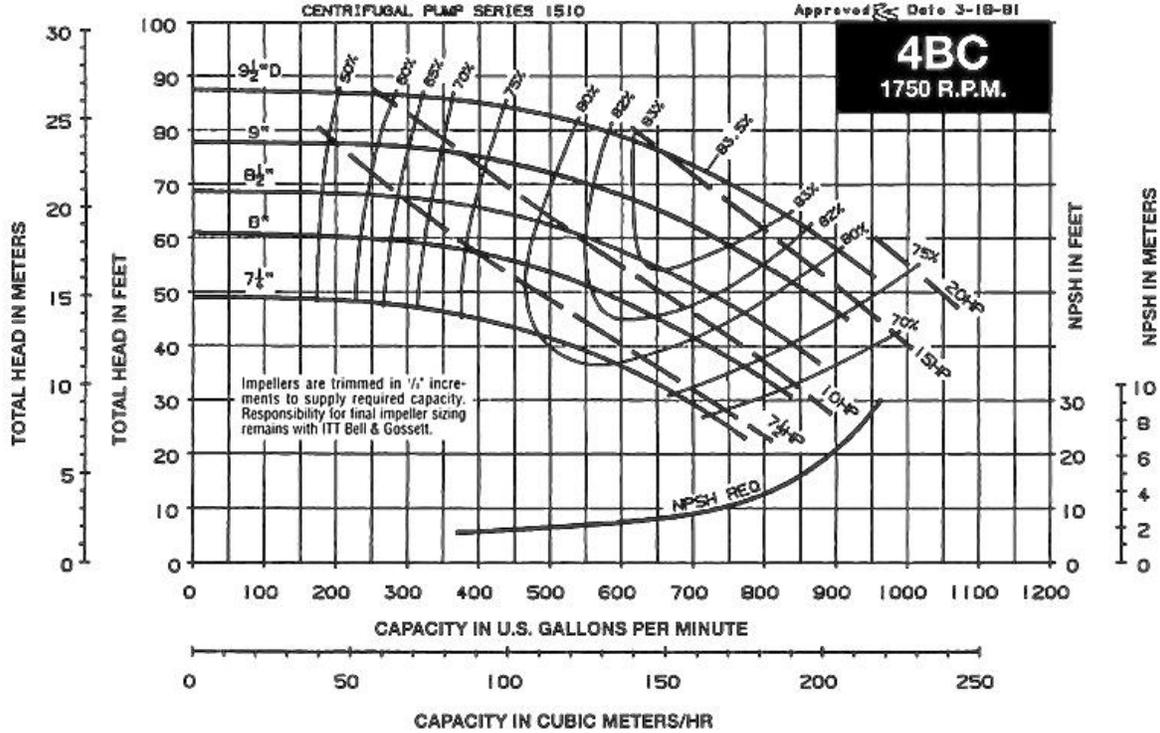
الثاني هو NPSHav وهو يعبر عن الفوائد الخاصة بالنظام الموجود بالمحطة على الواقع ويتم حسابه طبقا لأقطار المواسير والقطع الخاصة مثل الأكواع والوصلات المختلفة ويتم حساب الفوائد للقطع الخاصة من جداول pump institute .

*منحنى النظام system curve يعبر عن الفوائد وتأثيرها على تصرف المضخة وهو منحنى يمكن أن نحصل منه على منطقة التشغيل المفضلة preferred operation region POR وهي المنطقة التي تظهر على منحنى النظام وتمثل أفضل منطقة يتم تشغيل المضخة فيها وتختلف إختلاف السرعة النوعية للمضخة وقد حدد pump institute أن هذه المنطقة طبقا للسرعة النوعية للمضخة كما في الجدول التالي :

Specific speed Ns		preferred operation region POR
Metric	US	
<87	≤ 4500	Between 70%–120% of BEB
>87	> 4500	Between 80%–120% of BEB



1750 RPM PUMP CURVES



تسمى أي نقطة مثالية للتشغيل في منطقة POR بنقطة التشغيل الآتية وترتبط بسرعة الدوران وقطر المروحة duty (operating) point

*يحدد لكل مضخة نقطة تشغيل B وهي نقطة التقاطع بين منحنى المضخة Q-H curve ومنحنى المنظومة (الماسورة) ولا تتغير هذه النقطة (وبالتالي التصرف Q والرفع H) للمضخة إلا إذا تغيرت سرعة دوران المضخة n أو قطر المروحة D أو مميز المنظومة أو بإستخدام وسيلة تغير في تصرف أو رفع المضخة مثل محبس الخنق أو الباي باص أو مغير السرعات وغيرها .

5-5-1 التكهف والتنقيير cavitation and pitting

ينتج التكهف في المضخات والقطع والمروحة وحتى مواسير المنظومة من عدة عوامل وبالتالي يمكن تقسيمه إلى

*تكهف تبخير

*تكهف ناتج من التدوير الداخلي (سحب السرعة النوعية)

*تكهف ناتج من اضطراب في التدفق

*تكهف متلازمة المرور عبر ريش المروحة

وتظهر بعض الأعراض التي تخبر المشغل عن وجود تكهف في المضخة مثل إنفاض تصرف المضخة عن الإعتيادي ونقص رفع المضخة عن المعتاد ووجود فقائيع هواء في تجويف volute المضخة أمام المروحة وسماع صوت ضجيج عند التشغيل والخاصة أن أنواع التكهف جميعها ينتج من وجود فقائيع من الهواء أو بخار الماء وسوف نوضح لاحقا كيفية حدوث التكهف .

يحدث التبخر إما بسبب إرتفاع حرارة المياه أو إنفاض الضغط بسبب التفريغ فيؤدي ذلك لغليان المياه عند درجات حرارة منخفضة ويحدث التبخير في منطقة سحب المضخة بين فلنش السحب وعين المروحة ؛ ولعلاج مشاكل التبخير التي تسبب التكهف يتم ذلك إما بزيادة رفع أو ضغط السحب أو خفض درجة حرارة المياه أو تقليل سرعة تدوير المياه (تخفض سرعة المروحة لتخفيض التفريغ الناتج) أو تخفيض رفع السحب الموجب

الصافي المطلوب $NPSH_{req}$

*يمكن زيادة رفع السحب suction head عن طريق زيادة منسوب المياه في الخزان أمام المضخة (لاحظ في المضخات الغاطسة تكون تحت ضغط أو رفع موجب ومغمورة ومع ذلك يحدث التكهف نتيجة التبخير كما سنفصل) أو رفع مستوى الخزان نفسه فوق نقطة سحب المضخة ؛ أو بتقليل الفواقد (تقليل طول المواسير وزيادة القطر الوصلات الخاصة والأكواع وغيرها) أو بزيادة سرعة المروحة أو بتزويد النظام بمضخة

بوستر أو خزان ضغط أو بحقن جرعات من سوائل باردة في سحب المضخة (في حالة التبخير بسبب إرتفاع الحرارة وليس التفرغ وانخفاض الحرارة) وأيا كان الأمر سوف نشرح أيضا الوسائل المستخدمة لتقليل هذه الظاهرة بالتفصيل من خلال خيارات التحكم في تصرف المضخة وضبط سرعة المروحة وسرعة المضخة .

2-5-5 خواص منظومة المواسير system piping characteristics

* برسم رفع المنظومة الكلي H مقابل تصرف المضخة Q نحصل على منحنى المنظومة أو الماسورة

system piping curve والذي يمثل كلا من الرفع الإستاتيكي والديناميكي للمنظومة

* يتكون الجزء الإستاتيكي من الرفع الجيوديكلي H_{geo} (وهو الجزء الذي لا يتوقف على سعة أو تصرف

المضخة) مضافا إليه الفرق في الضغط بين قسمة دخول وخروج المنظومة والذي يعبر عنه :

$$= H_{geo} \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g}$$

(وذلك في حالة المنظومات المغلقة فقط ولا يستخدم في حالة المنظومات المفتوحة)

* يتكون الجزء الديناميكي من فاقد الرفع H_{dya} والذي يتزايد مع مربع السعة مضافا إليه الفرق بين السرعات

في دخول وخروج المنظومة والذي يعبر عنه كالتالي :

$$= H_{dya} \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$$

ويمكن إختيار المنحنى الأنسب لظروف التشغيل ؛ يوجد نوعين من المنحنيات للمضخات الطاردة المركزية

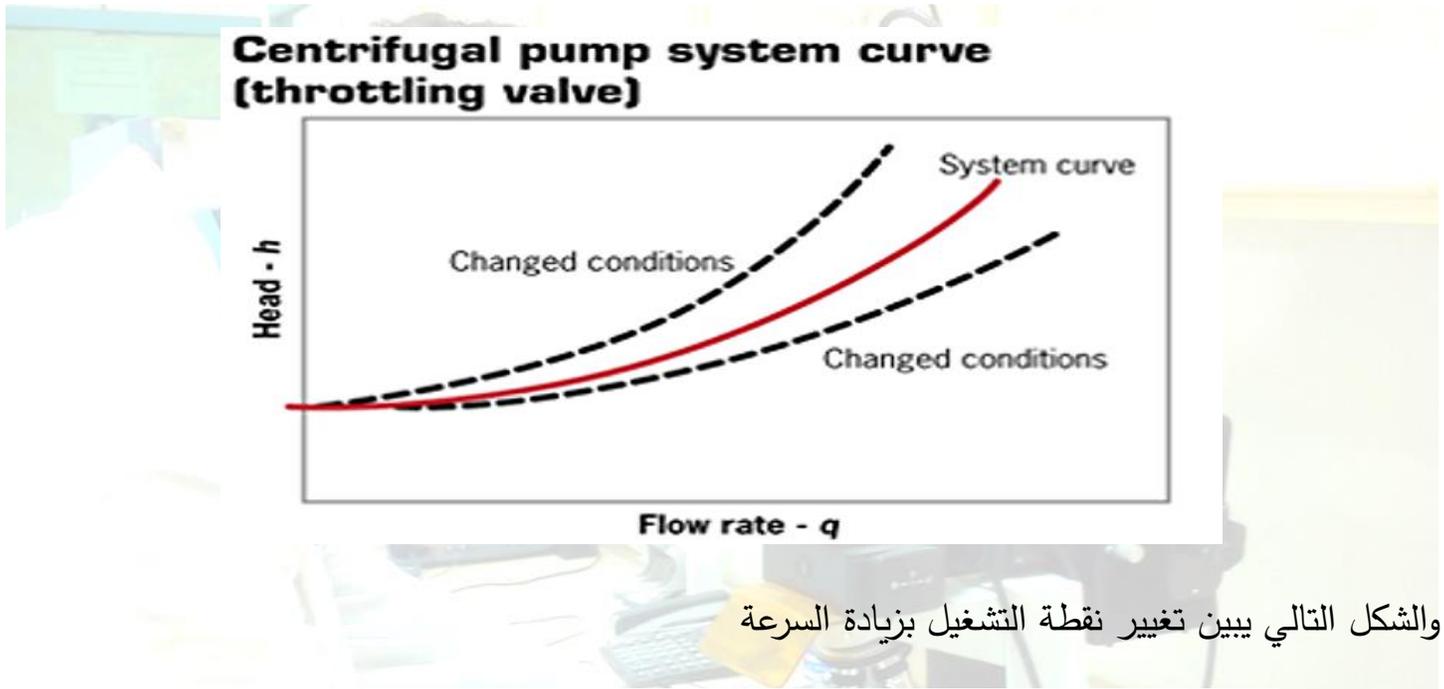
الأول المنحنى المنبسط flat curve والثاني المنحنى شديد الإنحدار steep curve ؛ في حالة المنحنى

شديد الإنحدار تتغير سعة المضخة أو تصرفها بشكل بطيء وأقل من المنحنى المنبسط تحت نفس ظروف

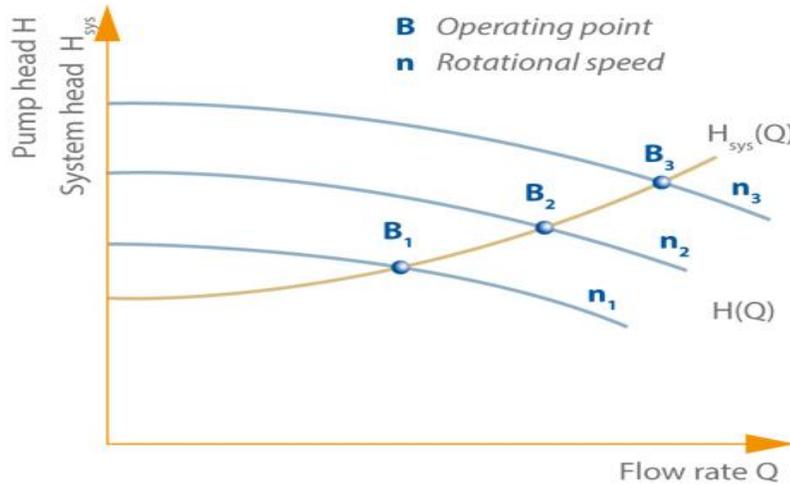
فارق الرفع ΔH ومن المنحنيات السابقة يتضح أن المنحنى شديد الإنحدار له مميزات تحكم أفضل .

تحدد الشركات المصنعة أيضا منطقة تسمى أفضل منطقة متاحة للتشغيل Available operating point وهي مثل POR وتمثل المنطقة التي لا يجب الخروج عنها لتشغيل المضخة وتحددها إختبارات الشركة المصنعة .

والشكل التالي يبين تغيير نقطة التشغيل بإستخدام محبس خنق Throttling valve



والشكل التالي يبين تغيير نقطة التشغيل بزيادة السرعة



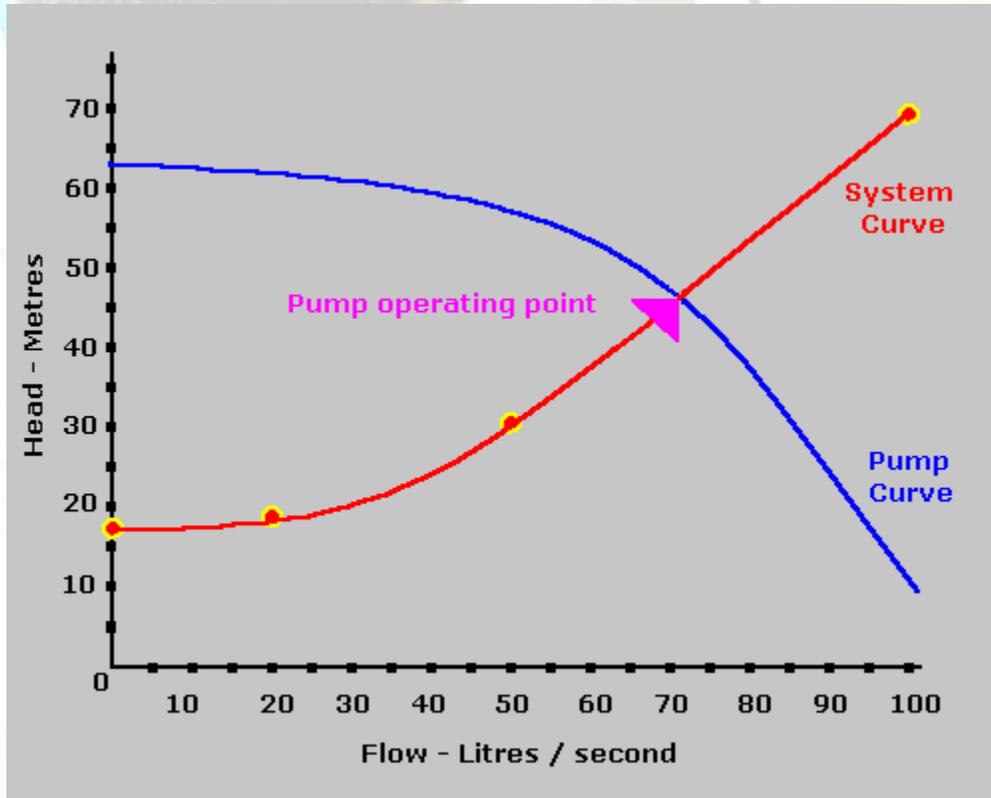
يتم تحديد نقطة التشغيل على منحنى المضخة من تقاطع منحنى النظام مع منحنى أداء المضخة (Q-H curve) وتختلف نقطة التشغيل على منحنى المضخة بإختلاف فواقد الضغط للنظام (نتيجة وجود القطع

الخاصة مثل الأكواع واقطار المواسير والمحابس) فرق فاقد الضغط الإستاتيكي للمضخة بين السحب والرفع ΔH وترتبط بتصريف المضخة Q بالعلاقة التالية :

$$H = \Delta H + KQ^2$$

حيث K ثابت يعبر عن الفواقد ؛ ويوجد ثلاث حالات لهذه المعادلة :

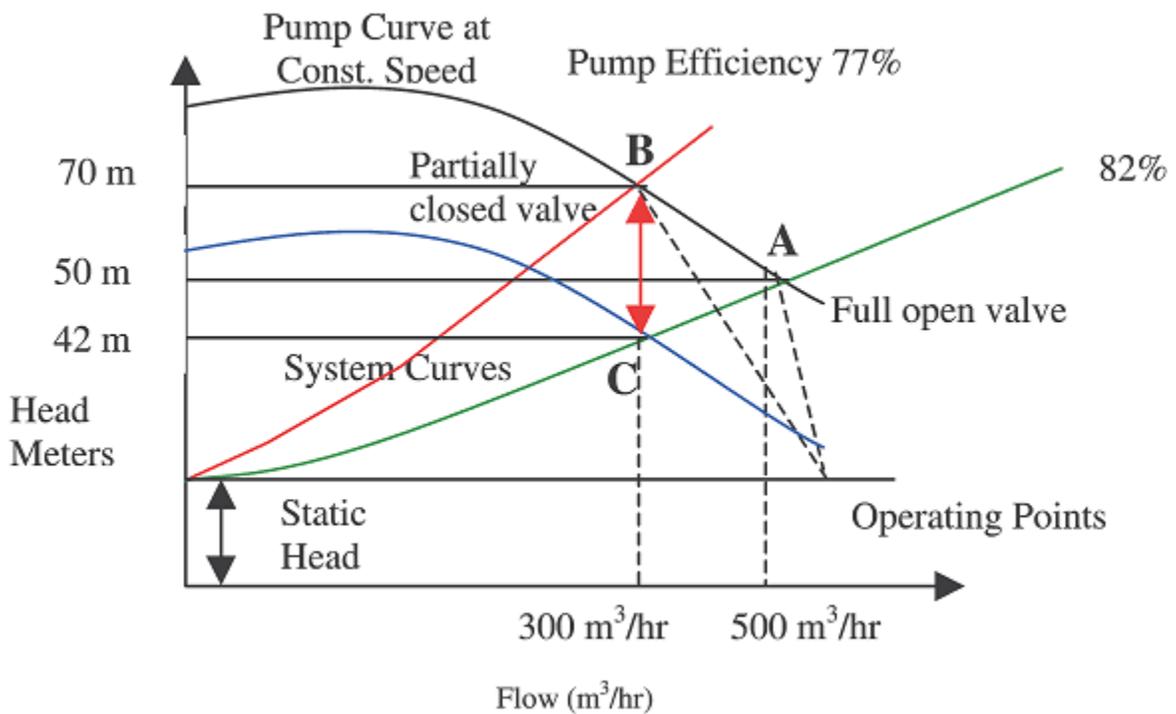
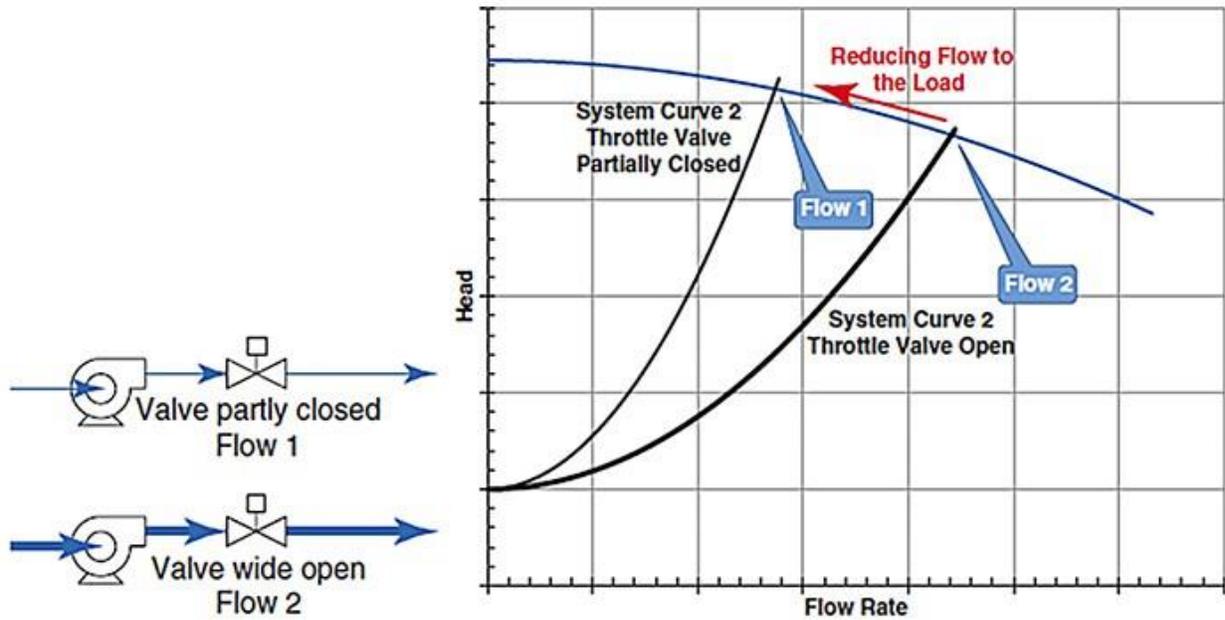
*الأولى أن يكون الفرق فاقد الضغط الإستاتيكي للمضخة بين السحب والرفع ΔH مساويا للصفر حيث يكون منسوب المياه للسحب والطرء متساوي وبالتالي لن يكون هناك فواقد وتعطي المضخة أكبر تصريف لها .



*الثانية أن يكون منسوب الرفع أعلى منسوب سحب المضخة وعندها يزيد الرفع الكلي وتزيد الفواقد كلما زادت القطع الخاصة وبالتالي يقل تصريف المضخة نجد أن نقطة التشغيل سوف يتم إزاحتها لأعلى

*في وجود محبس على طرد المضخة لو تم فتح المحبس تدريجيا نجد ان قيمة كل من K و H تتناقص وتتحرك نقطة التشغيل نحو قيمة أكبر من التصريف ؛ وتزيد قيم Q حتى تصل لأقصى قيمة لها عند فتح

المحبس تماما ويحدث العكس عند خنق المحبس وغلقه تدريجيا أمام المضخة حيث تزيد الفواقد وبالتالي تزيد قيمة الرفع الكلي للمضخة ويقل تصرف المضخة حتى يصل للصفر في حالة قفل المحبس تماما .

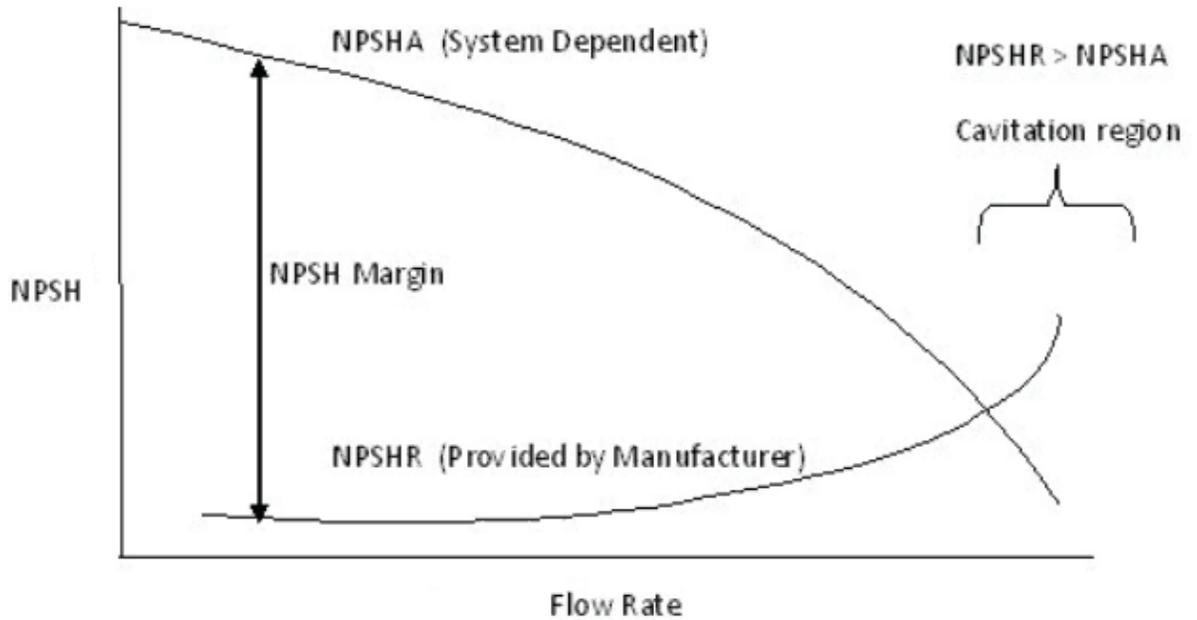


*إذا تم فتح المحبس تماما يتم إزاحة نقطة التشغيل نحو أقصى تصرف للمضخة وتكون بعيدا عن نقطة أفضل نقطة أداء للمضخة BEP ؛ ونفهم من ذلك انه يجب حساب الفواقد والرفع الكلي للمنظومة بدقة حتى يتم إختيار المضخة المناسبة بتصرف يناسب الفواقد والرفع الموجود على الطبيعة في موقع العمل

*كلما زاد فتح محبس الطرد بالنسبة للمضخات قطرية التدفق تزيد التصرفات للمضخة ويزيد معها إستهلاك

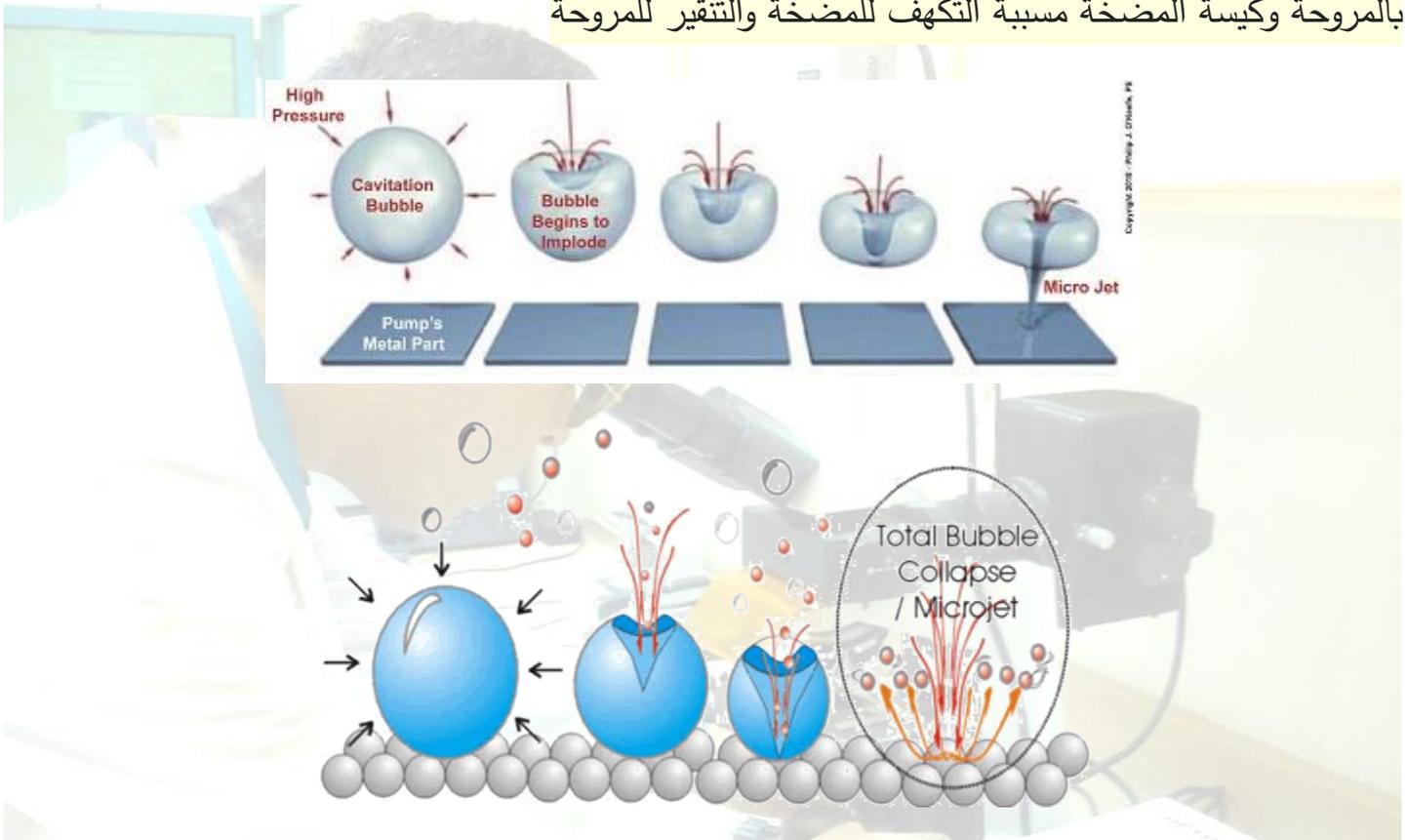
الطاقة kW للمضخة بينما في المضخات محورية التدفق يكون العكس حيث يزيد التدفق مع زيادة فتح المحبس ويقل إستهلاك الطاقة kW وتكون المضخات مختلطة التدفق بينهما (لاحظ أن نقطة التشغيل تتغير)

*عند فتح محبس الطرد تماما يزيد NPSHave وقد يحدث أن يصبح أكبر من NPSHreq (يتم تحديده عن طريق الشركة المصنعة للمضخة) مما يتسبب في حدوث تفريغ في منطقة سحب المضخة



هذا التفريغ ناتج من السرعة الكبيرة التي تدور بها المروحة ومع إنخفاض الضغط تنخفض درجة الحرارة ويحدث تبخر المياه في ظل الضغط المنخفض عند درجة حرارة منخفضة طبقا لقوانين الغاز ؛ لاحظ ان التفريغ معناه أنه تم سحب الغازات التي توجد في منطقة سحب المضخة تماما ؛ وحتى في حالة عدم وجود

غاز يحدث تفريغ نتيجة السرعة العالية للمروحة وتحت هذه الظروف من الضغط المنخفض تتحول جزيئات المياه من الحالة السائلة للحالة الغازية لملئ فراغ جزيئات الغازات أي يحدث تبخير للمياه عند ضغط منخفض وبالتالي تتكون فقاعات من بخار الماء في شكل فقاقيع ؛ تضغط قطرات المياه على هذه الفقاقيع من الخارج مسببة إنفجار نحو داخل الفقاقيع ومسببة إندفاع قوي لقطرات المياه المندفعة كرد فعل لإنفجار الفقاقيع تصطدم بالمروحة وكيسة المضخة مسببة التكهف للمضخة والتتقير للمروحة



تحدث هذه الظاهرة سواء كانت المضخة غاطسة ومغمورة تماما بالمياه أو تعمل في بئر جاف وتنتج من الإختيار الغير مناسب للمضخة وفق فواقد النظام الواقعية .

غالبا ما يتم طلب مضخات أكبر في تصرفاتها من التصرفات المطلوبة تحسبا للتدفقات وقت الدورة أو التوسعات المتوقعة أو عند تشغيل المضخات في بداية تشغيل المحطات بتدفقات أقل من التصميمي ؛ كما يتم إضافة عامل أمان يزيد من تصرف المضخات المطلوبة وهذه الحالات لا يمكن الهروب منها أو تجنبها لذلك يجب وضع حلول لهذه الحالات حيث أنها تمثل الشائع والأعم في تشغيل محطات الرفع والضخ .

وسواء تم فتح محبس الطرد كاملا أو غلق محبس السحب فإن النتيجة واحدة وهي حدوث تفريغ في منطقة سحب المضخة وحدث تكهف وتثقيب للمضخة والمروحة والقطع الخاصة فضلا عن زيادة درجة حرارة الموتور والتأثير على العزل والتأثير على كفاءة المضخة وحدث إهتزاز وضوضاء .

توجد عدة حلول لتقليل تكهف المضخات pump cavitation وتثقيب المراوح impeller pitting كما يحدث

أيضا للقطع الخاصة والمحابس وحتى المواسير وتختلف الوسيلة المناسبة لكل حالة بإختلاف المضخة المستخدمة ونوعية المياه أيضا حيث يوجد أربعة حلول هي :

*إستخدام محبس خنق throttling valve

*إستخدام محبس مسار خلفي أو باي باص bypass valve

*إستخدام محول تردد frequency converter أو مغير سرعات speed drive

*تجذيب أو تقصير أو تغيير قطر المروحة impeller termmining

والحالة الخامسة وهي تستخدم لضبط تشغيل المضخة مع التدفق الوارد بإستخدام حساس مستوى المياه في البيرة .

في حال غلق المحبس أم المضخة يحدث التفريغ الهوائي أيضا حيث تسحب المضخة جزء من المياه ويصبح خط المواسير فارغ جزئيا مما يولد تفريغ هوائي بالخط يسبب نفس الظاهرة السابقة تماما .

يرتبط NPSHave مع NPSHreq ويتأثر بالضغط الجوي وفواقد النظام

5-6 التصميم الهيدروليكي والميكانيكي لمحطات الرفع

1-5-6 تحديد حجم بيرة التخزين

يعتبر حجم التخزين الذي يتم حسابه هو الحد الأدنى للتشغيل الآمن تحت أصعب الظروف بإعتبار عدد مرات التشغيل لوحدات الرفع في الساعة (معدل التشغيل) ؛ ولتحديد حجم الببارة لمحطة رفع يجب مراعاة التالي :

*العلاقة بين التصرفات الواردة وتصرف المضخة أو المضخات ومن ثم عدد مرات التشغيل والإيقاف في الساعة والتي تؤثر على محركات المضخات وأجهزة بدء الحركة لها .

* الصرفات الزائدة الفجائية لمنع الإرتجاع الهيدروليكي adverse hydraulic condition إلى شبكة الصرف الخاص بالمحطة أو أي أحمال إضافية عليها surcharge

*تصميم أبعاد وأماكن توزيع المضخات والمواسير والبلوف داخل الببارة

*توفير حجم تخزين إحتياطي والذي نحتاجه في حالة الأعطال ولإستيعاب تصرفات الذروة

2-6-5 حساب التخزين الفعال

يتم حساب حجم التخزين الفعال لببارات الرفع على أساس عدد مرات التشغيل والإيقاف لمضخات الرفع في الساعة كالتالي :

بفرض أن T الزمن بين وضع تشغيلين متتاليين وهو زمن دورة التشغيل للمضخة بالثانية و V الحجم الفعال لببارة التخزين وهو حجم التخزين بين منسوبي التشغيل والإيقاف للمضخات العاملة بالمتر المكعب ؛ و Q هو حجم تصرف المضخة أو مجموع أحجام التصرفات للمضخات العاملة بالببارة بالمتر المكعب للثانية و Q_{in} هو أقصى تصرف وارد لمحطة الرفع بالمتر المكعب للثانية وهو عبارة عن متوسط التصرف اليومي الوارد لمحطة الرفع X معامل الدورة

يقسم زمن دورة التشغيل T إلى زمن تشغيل المضخات pump operation t_p (أو زمن on time) وزمن توقف المضخات لمليء الببارة off time t_s .

$$T = t_p + t_s \quad (1)$$

$$t_s = \frac{V}{Q_{in}} \quad (2)$$

حيث t_s هو الزمن اللازم لملئ حيز التخزين بالبيارة بين منسوب الإيقاف level-0 ومنسوب التشغيل level-1 .

و t_p هو :

$$T_p = \frac{V}{Q - Q_{in}} \quad (3)$$

و t_p هو الزمن اللازم لتفريغ البيارة بين منسوب التشغيل level-1 ومنسوب الإيقاف level-0 وذلك عندما يكون $Q \geq Q_{in} \geq 0$ ؛ أما عندما يكون $Q_{in} > Q$ فإن منسوب المياه داخل البيارة سوف يزداد حتى في حالة تشغيل المضخات بشكل متواصل .

وبالتعويض عن قيمة كل من t_s و t_p

$$T = \frac{V}{Q_{in}} + \frac{V}{Q - Q_{in}} \quad (4)$$

أو يمكن إعادة ترتيب المعادلة لتصبح :

$$T = V \left\{ \frac{1}{Q_{in}} + \frac{1}{Q - Q_{in}} \right\} \quad (5)$$

ومنها يتضح أن زمن دورة التشغيل T دالة في التصرفات الواردة للبيارة عند حجم تخزين محدد V وتصرف مضخات Q .

يمكن الحصول على التصرفات الواردة والتي عندها يكون زمن دورة التشغيل أقل ما يمكن عندما يكون :

$$= 0 \quad \frac{dt}{dQ_{in}}$$

وبالتعويض في المعادلة السابقة :

$$Q_{in} = \frac{Q}{2} = \varphi \quad (6)$$

وتسمى φ التصرف الحرج critical inflow ؛ أي أن زمن دورة التشغيل يكون أقل ما يمكن عندما تكون التصرفات الواردة لبيارة الرفع Q_{in} مساوية لنصف تصرف رفع المضخات Q ؛ وبالتعويض من المعادلة (6) في المعادلة (5) نجد أن أقل زمن لدورة التشغيل هو :

$$T_{min} = \frac{4V}{Q} \quad (7)$$

ومن ثم يتم تحديد أقل زمن لدورة التشغيل مقدما وبناء عليه يتم تحديد حجم ببيارة التخزين التي تحقق زمن دورة T أكبر من T_{min} أو $T > T_{min}$ للتصرفات الواردة لمحطة الرفع وبالتالي يكون أقل حجم فعال لبيارة التخزين لعدد محدد من مرات التشغيل في الساعة :

$$V_{min} = \frac{Q * T_{min}}{4} \quad (8)$$

ويمكن إستخدام صيغة أخرى لحساب الحجم الفعال إذا كان التدفق الوارد للبيارة يعادل نصف تصرف المضخة :

$$V_{min} = \frac{0.9Q}{Z}$$

حيث V_{min} هو أقل حجم فعال لبيارة التخزين بالمتر المكعب و Z عدد مرات تشغيل المضخات في الساعة (معدل التشغيل) و Q تصرف المضخات العاملة لتر/ الثانية .
أو يمكن حساب الحجم الفعال للبيارة طبقا للمعادلة التالية :

$$V_{min} = \frac{3600 * [(Q * Q_{in}) - Q_{in}^2]}{Z * Q}$$

حيث V_{min} هو أقل حجم فعال لبيارة التخزين بالمتر المكعب و Z عدد مرات تشغيل المضخات في الساعة (معدل التشغيل) و Q تصرف المضخات العاملة م³ / الثانية و Q_{in} هو التدفق الوارد للبيارة

يتوقف عدد مرات التشغيل للمضخات في الساعة على تصرف المضخات ونوعها والرفع المانومتري التي تعمل ضده ويؤخذ في الإعتبار أنه كلما زاد عدد مرات التشغيل المطلوبة في الساعة كلما إرتفعت تكلفة المحركات الكهربائية وأجهزة التحكم بصورة كبيرة ؛ وحيث أنه كلما زاد تصرف المضخات وزاد الرفع المانومتري لابد ان تزيد قدرة المحرك فإن ذلك يستلزم تقليل عدد مرات التشغيل في الساعة (معدل التشغيل) حفاظا على الموتور الذي يسخن نتيجة لذلك

والجدول التالي يوضح معدل التشغيل (عدد مرات التشغيل) للمضخات طبقا لقدرة المحرك

أقل من 5 كيلوات	25 مرة / ساعة
من 5-20 كيلوات	20 مرة / ساعة
من 20-50 كيلوات	15 مرة / ساعة
من 50-100 كيلوات	10 مرة / ساعة
من 100-200 كيلوات	6 مرة / ساعة
أكبر من 200 كيلوات	4 مرة / ساعة

لذلك يجب عند عمل مواصفات خاصة بالمحركات ذكر عدد مرات التشغيل في الساعة .

يمكن التحكم في أبعاد البيازة فمثلا يمكن تحديد العمق المناسب وحسابه من خلال تحديد مساحة سطح البيازة المطلوب ثم من هذه المساحة وحجم البيازة المحسوب يتم تحديد العمق ؛ ويراعي أن يكون

5-7 أنواع محطات الرفع

يوجد ثلاث أنظمة لعمل المضخات بمحطات الرفع تبعا لذلك يمكن تقسيمها لثلاث حالات لكل منها حساباتها الخاصة :

*محطة رفع بها مضخة واحدة عاملة single pump lift station

*محطة رفع بها مضختان تعملان بالتبادل alternating 2 pumps lift station

*محطة رفع بها أكثر من مضختان تعمل بالمحطة multi-pump lift station

1-7-5 تشغيل مضخة واحدة

وهي في حالة المحطات التي تحتوي على مضخة واحدة فقط ويتم حساب حجم التدفق الوارد للمحطة خلال دورة واحدة هو :

$$V = Q_{in} * T \quad (9)$$

وبما أنه يجب رفع نفس الحجم من البيرة خلال زمن التشغيل فإن :

$$V = Q * t \quad (10)$$

حيث Q تصرف المضخة و t زمن تشغيل المضخة وبطرح المعادلتين يكون :

$$Q_{in} * T = Q * t$$

$$t = \frac{Q_{in} * T}{Q} \quad (11)$$

وعند توقف المضخة فإنه يتم ملئ الحجم بين منسوبي التشغيل والإيقاف وهو الحجم الفعال V_h وذلك خلال زمن هو الفرق بين زمن الدورة وزمن تشغيل المضخة ويساوي $T-t$ ومن ذلك يمكن القول أن زمن الدورة هو :

$$T = \frac{Q * V_h}{(Q_{in} * Q) - Q_{in}^2} \quad (12)$$

ويكون معدل التشغيل Z هو معكوس T

$$Z = \frac{(Q_{in} * Q) - Q_{in}^2}{Q * V_h} \quad (13)$$

ومنها يتضح أن معدل التشغيل دالة في $\frac{Q_{in}}{Q}$ ؛ ويمكن حساب أقصى معدل للتشغيل بإجراء تفاضل للمعادلة السابقة :

$$= \frac{(Q) - 2 Q_{in}}{Q * V_h} \quad (14) \frac{dZ}{dQ_{in}}$$

وهذه النسبة تساوي صفر عند $Q_{in} = \frac{1}{2} Q$

وبالتعويض بهذه القيمة للتدفقات الواردة في معادلة معدل التشغيل (13) نحصل على الحجم الفعال لأقصى معدل تشغيل :

$$V_h = \frac{Q}{4Z_{max}} \quad (15)$$

2-7-5 تشغيل مضختان متماثلتان بالتبادل

عندما يصل منسوب المياه بالبيارة لمنسوب التشغيل الأول تبدأ المضخة الأولى A في العمل ؛ وفي حالة ما إذا كان تصرف المضخة Q1 أكبر من التدفق الوارد للمحطة Q_{in} فإن منسوب المياه يستمر في الهبوط حتى مستوى الإيقاف وعندها تتوقف المضخة الأولى A عن العمل ثم يبدأ مستوى المياه في الارتفاع من جديد حتى يصل مستوى التشغيل الأول مرة أخرى .

وإذا كان معدل التدفق الوارد للمحطة Q_{in} أكبر من تصرف المضخة الواحدة Q1 فإن منسوب المياه يرتفع إلى منسوب التشغيل الثاني فتبدأ المضخة الثانية في العمل .

إذا كان معدل تصرف المضختان معا Q₁₊₂ أكبر من معدل التدفقات الواردة فإن منسوب المياه يهبط حتى يصل إلى منسوب الإيقاف وعندها تتوقف المضختان معا عن العمل .

ومما سبق نستنتج أن عندما يكون $Q_{in}/Q1 < 1$ فإن حجم التخزين الفعال V_h يمكن حسابه من المعادلة التالية :

$$V_h = \frac{Q_1}{8 \cdot Z_{1max}} \quad (16)$$

وعندما يكون $Q_{in}/Q_1 > 1$ فإنه في هذه الحالة يوجد عاملان آخران يؤثران في معدل التشغيل وهما الأول نسبة V_h/V_H حيث V_H هو مجموع حجم التشغيل الأول والثاني من مستوى الإيقاف والثاني مجموع تصرف المضختان Q_{1+2} والذي يحدد الفقد بالإحتكاك داخل خط الطرد وعلى ذلك يمكن استنتاج العلاقة التالية :

$$Z_{1+2} = \left\{ \frac{Q_1 (V_H - V_h)}{Q_{in}^2 - Q_1 \cdot Q_{in}} + \frac{Q_H \cdot V_{1+2}}{Q_{in} \cdot Q_{1+2} - Q_{in}^2} \right\} \quad (17)$$

يرتفع معدل التشغيل بحدّة عند تشغيل المضختان معا على التوازي وتكون القيمة القصوى لمعدل التشغيل Z_{1+2max} حرجة جدا .

3-7-5 تشغيل أكثر من مضختان

في حالة تشغيل أكثر من مضختان يوجد نظامان للتشغيل

* أن يكون للمضخات العاملة منسوب مشترك للإيقاف **common stop levels**

* أن يكون مناسب للإيقاف للمضخات متدرجة **stepped stop levels**

4-7-5 التشغيل مع منسوب مشترك للإيقاف **common stop levels**

في هذا النظام يتم تشغيل المضخات على مراحل **stepped starting levels** ويتم الإيقاف لها جميعا عند منسوب مشترك ويراعى أن يكون التشغيل بالتبادل بين المضخات حتى يكون عدد ساعات التشغيل متساوي بين المضخات .

يتم تطبيق هذا النظام في محطات الرفع متعددة المضخات عندما يكون حجم التخزين صغير .

من مميزات هذا النظام :

* تقادي وجود طبقة الخبث الطافية على السطح أو ترسيب المواد الصلبة في قاع البيرة

*سهولة الموازنة بين ساعات التشغيل للمضخات العاملة

ومن عيوبه :

*أنه يحتاج نظام فعال لمنع الطرق المائي water hammering

*عدم الحصول على تدفق مستمر من محطة الرفع

5-7-5 التشغيل مع مناسيب متدرجة للإيقاف stepped stop levels

يطبق هذا النظام لمحطات الرفع متعددة المضخات عندما يكون حجم التخزين كبير نسبيا ؛ ومن مميزات هذا النظام :

*الحصول على تدفق منتظم من محطة الرفع بدون تغيرات فجائية

*الإستغناء عن نظام الحماية من الطرق المائي المكلف

ومن عيوبه :

*وجود طبقة من الخبث الطافي وترسيب المواد الصلبة ولكن يمكن معالجة الأمر بطرق سهلة أخرى

5-8 حسابات حجم بيارات التخزين

5-8-1 حساب حجم بيارة التخزين التشغيل مع منسوب مشترك للإيقاف

*العلاقة بين التصرف الإفتراضي للمضخة k وتصرف المضخة رقم 1

$$q_k = \frac{Q_k}{Q_1} \quad (18)$$

*العلاقة بين حجم التخزين الإفتراضي للمضخة k بالنسبة لحجم التخزين للمضخة رقم 1

$$V_k = \frac{V_{kmin}}{V_{1min}} \quad (19)$$

*العلاقة بين تصرف المضخة k ومجموع التصرفات للمضخات العاملة قبلها أو ما يسنى معامل التصرف يحسب من العلاقة :

$$\eta_k = \frac{Q_k}{\sum_{i=1}^k q_i} \quad (20)$$

حيث η_k معامل التصرف

*معامل حجم التخزين لعدد k من المضخات

$$G_k = \frac{Q_1 * \sum_{i=1}^k V_i}{4 * \sum_{i=1}^k Q_i} = \frac{\sum_{i=1}^k V_i}{4 * \sum_{i=1}^k q_i} \quad (21)$$

حيث G_k معامل حجم التخزين

2-8-5 الحالة الأولى : المضخات العاملة متماثلة وترفع التصرفات في خطوط طرد منفصلة

$$Q_1 = Q_2 = \dots Q_k$$

من ثم يكون

$$T_{1min.} = T_{2min} = \dots T_{kmin}$$

ومن العلاقة (18) نجد أن

$$q_1 = q_2 = \dots q_k = 1$$

*ومن ثم يتم حساب حجم التخزين الفعال للمضخة كالتالي :

$$V_{1min} = \frac{Q_1 * T_{1min}}{4} \quad (19)$$

حيث يتم حساب تصرف المضخة $Q_1 = m^3/min$ و T_{1min} هو زمن توقف المضخة بالدقيقة (المضخات الكبيرة يكون زمن التوقف 15 دقيقة والضغيرة 10 دقائق)

*يتم حساب V_{min} لجميع المضخات حيث أن :

$$V_{kmin} = V_k * V_{1min} \quad (20)$$

وبتجميع حجم التخزين الفعال لجميع المضخات من $k - 1$ يمكن حساب حجم التخزين الفعال الكلي للمحطة
 V_{Tmin}

*يتم حساب إرتفاع التخزين H_k لكل مضخة من المعادلة التالية :

$$H_k = \frac{V_{kmin}}{sump\ area} \quad (21)$$

*بتجميع إرتفاعات التخزين من $H_k - H_1$ يمكن حساب إرتفاع التخزين الكلي للمحطة H_T

3-8-5 الحالة الثانية : المضخات العاملة متماثلة وترفع التصريفات في خطوط طرد مشتركة

هنا أيضا سيكون :

$$Q_1 = Q_2 = \dots Q_k$$

من ثم يكون

$$T_{1min.} = T_{2min} = \dots T_{kmin}$$

*ومن ثم يتم حساب حجم التخزين الفعال للمضخة كالتالي :

$$V_{1min} = \frac{Q_1 * T_{1min}}{4}$$

$$V_{kmin} = V_k * V_{1min}$$

$$H_k = \frac{V_{kmin}}{sump\ area}$$

*مجموع V_k لجميع المضخات هو حجم التخزين الفعال الكلي $V_{T.min}$ ومجموع H_k لجميع المضخات هو الإرتفاع الكلي H_T

4-8-5 الحالة الثالثة : المضخات العاملة غير متماثلة وترفع التصريفات في خطوط طرد منفصلة

في كلتا الحالتين الثالثة والرابعة نطبق نفس الخطوات كما في الحالة الأولى و الثانية لإستنتاج حجم التخزين الفعال والإرتفاع المناظر .

9-5 حساب حجم بيارة التخزين للتشغيل مع منسوب متدرج للإيقاف

نستخدم المعادلة التالية لحساب حجم التخزين الإجمالي الأدنى للبيارة :

$$V_T = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{\sum_{i=1}^n T_i * Q_i} = 1/4 \quad (22)$$

حيث n عدد المضخات العاملة و V_T حجم التخزين الإجمالي الأدنى للبيارة و V_i حجم التخزين الأدنى للمضخة P_i والذي يحقق زمن لدورة التشغيل بحيث يكون $T \geq T_i$ حيث T_i هو أقل زمن لدورة التشغيل المحدد للمضخة P_i ؛ و Q_i هو تصرف المضخة P_i .

وعلى ذلك فإن المسافة بين منسوبي التشغيل والإيقاف للمضخة P_k يمكن حسابه من المعادلة التالية :

$$H_k = \frac{V_k}{A_k} \quad (23)$$

حيث V_k حجم بيارة التخزين اللازم للمضخة P_k ؛ P_k مساحة بيارة التخزين المناظر للحجم V_k ؛ ويكون الإرتفاع الإجمالي للمياه داخل البيارة هو :

$$H_T = \sum_{i=1}^n H_i \quad (24)$$

1-9-5 الحالة الأولى : إذا كانت تصرفات المضخات العاملة متساوية وترفع تصرفاتها لخطوط طرد

منفصلة ومتساوية الطول

في هذه الحالة هنا أيضا يكون :

$$Q_1 = Q_2 = \dots Q_k$$

من ثم يكون

$$T_{1min.} = T_{2min} = \dots T_{kmin}$$

وتكون المسافات بين مناسيب التشغيل أيضا متساوية لجميع المضخات

$$H_1 = H_2 = \dots H_k$$

ثم نحسب الإرتفاع الإجمالي لمناسيب التشغيل والإيقاف كما سبق .

2-9-5 الحالة الثانية : إذا كانت المضخات العاملة في المحطة ترفع تصرفاتها في خط طرد مشترك

وفي هذه الحالة تكون تصرفات المضخات مختلفة بإختلاف عدد المضخات العاملة في نفس الوقت وتكون

إجراءات الحساب كالتالي :

* يتم حساب قيمة التصرف لكل مضخة على حدة Q_k

* حساب الحجم المكافئ V_k لكل مضخة Q_k

* ثم نحسب حجم التخزين الكلي V_T

* ثم نحسب المسافة بين منسوبي الإيقاف والتشغيل لكل مضخة H_k

* ثم نحسب الإرتفاع الإجمالي H_T لمناسيب التشغيل والإيقاف

ومن الملاحظ أنه في هذه الحالة يكون حجم التخزين الأدنى الكلي لتصرف إجمالي معين يعتمد فقط على أقل زمن لدورة التشغيل T_{min} وليس على عدد المضخات العاملة وتصرفاتها المقابلة وعلى ذلك فإن حجم التخزين بالبيارة يقل فقط بتقليل زمن فترة التشغيل .

على أنه في كلا النظامين السابقين الأول والثاني يجب مراعاة التالي :

*إضافة إرتفاع أقل منسوب للإيقاف للإرتفاع الكلي H المكافئ لحجم التخزين الفعال وذلك لحساب عمق التخزين للبيارة .

*الأخذ بالإعتبار تغيير منسوب المياه بالبيارة وبالتالي تغيير المنسوب الإستاتيكي H_0 في الحسابات إذا كان الفرق بين منسوبي التشغيل والإيقاف كبير .

5-10 المسافات البينية لمناسيب التشغيل والإيقاف

يجب مراعاة عدم تقارب مناسيب التشغيل والإيقاف للمضخات بشكل كبير حتى لا يتسبب ذلك في حدوث موجات سطحية بالمياه داخل البيارة مما يؤثر على دقة عملية ضبط مناسيب التشغيل أوالإيقاف وبصفة عامة لا تقل المسافة بين أي منسوبي عن 20 سم .

5-10-1 أقل منسوب للمياه بالبيارة (منسوب الإيقاف)

يجب مراعاة أن يكون أقل منسوب مسموح به للمياه داخل البيارة يتم تحديده طبقا لقيمة السحب الموجب الصافي المطلوب للمضخة $NPSH$ وفي كل الأحوال يجب ألا يقل هذا المنسوب عن مستوى أعلى المضخة (top of pump casing) بحيث نضمن أن المروحة pump impeller مغطاة تماما بالمياه .

5-10-2 أعلى منسوب للمياه بالبيارة (منسوب التشغيل)

يتم تحديد أعلى منسوب للمياه بالبيارة بحيث لا يسمح بحدوث إمتلاء البيارة أو توقف لسريان المياه داخل شبكة التجميع الموصلة للمحطة أو حدوث ما يعرف بالإرتجاع الهيدروليكي back water curve أو حدوث طفح بالشبكة surcharging وعلى ذلك يجب ألا يتعدى منسوب التشغيل قاع ماسورة الدخول للبيارة .

3-10-5 تحديد عمق التخزين

بعد تحديد حجم التخزين الفعال V_H يتم تحديد منوسبي التشغيل والإيقاف طبقا لما سبق ويكون الفرق بين المنسوبين H هو إرتفاع المياه داخل البيارة والذي يكافئ حجم التخزين الفعال V_H وحيث أن منسوب التشغيل محدد بماسورة الدخول للبيارة فإن تحديد منسوب الإيقاف وبالتالي عمق البيارة نفسها متروك للمصمم والذي يراعي في ذلك عدة عوامل :

*مساحة الأرض المتاحة لإنشاء البيارة

*المسطح المطلوب لتتكون وحدات الرفع (المضخات وملحقاتها) والذي يكون عنصرا مؤثرا في تحديد أبعاد البيارة

*منسوب دخول خط الإنحدار الرئيسي للمحطة

*إمكانية الوصول للمنسوب المطلوب لقاع البيارة من الناحية الإنشائية وبمراعاة طبيعة التربة ومستوى المياه الجوفية والتكلفة الإقتصادية بالمقارنة مع زيادة سطح البيارة وسلامة المباني المجاورة ؛ وعادة يكون الإرتفاع بين منوسبي التشغيل والإيقاف H في حدود 0.3-8 متر حسب سعة المحطة .

4-10-5 تحديد مسطح البيارة المغمورة في حالة البيارات المستديرة

بعد تحديد حجم التخزين الفعال للبيارة V_H وتحديد الإرتفاع H المكافئ لهذا الحجم طبقا لما سبق توضيحية فإنه يمكن حساب مسطح البيارة المغمورة من العلاقة :

$$A_w = \frac{V_H}{H}$$

وفي حالة البيارة المستديرة فإنه من المعتاد تقسيم البيارة لجزء مغمور وآخر جاف بنسبة 1:1 أو 1:2 من قطر البيارة على التوالي ؛ أي أن مسطح البيارة يمثل قطعة من مساحة الدائرة بإرتفاع h وطول قوس b ووتر S ولحساب مساحة القطعة الدائرية تستخدم العلاقة :

$$A_w = \left(\frac{b}{2}\right) * r - \frac{S}{2} * (r-h)$$

حيث r نصف قطر البيارة المستديرة و h إرتفاع القطعة الدائرية وعندما يكون الإرتفاع h هو

$$H = \frac{2r}{3}$$

فإن :

$$A_w = 0.906 r^2$$

5-10-5 حساب قطر البيارة المستديرة

بعد حساب مسطح البيارة المغمورة يتم حساب قطر البيارة المستديرة (المغمورة+الجافة) D من العلاقة التالية :

$$D = 2 * \sqrt{\frac{A_w}{0.906}}$$

$$D = 2.1 * \sqrt{A_w}$$

5-11 محددات المضخات pump percipients

تشمل محددات الداء للمضخة التالي :

5-11-1 تصرف المضخة pump capacity

التصرف الخارج هو حجم السائل الخارج في وحدة الزمن ويقاس بالمتر المكعب في الساعة أو لتر في الثانية

5-11-2 رفع المضخة pump head

الرفع H هو الطاقة الميكانيكية (طاقة الوضع) الفعالة المنتقلة بواسطة المضخة إلى السائل المراد ضخه وتقدر بالمتري الطولي ولا ترتبط بالوزن النوعي للسائل .

5-11-3 رفع المنظومة system head

الرفع الكلي للمنظومة H_A يتكون من :

*الرفع الإستاتيكي H_{geo} وهو الفرق في الإرتفاع بين منسوبي السحب والطردي للسائل ؛ فإذا كانت ماسورة

الطردي تصب من أعلى منسوب السائل فإن الرفع الإستاتيكي ينسب إلى خط المحور لماسورة الصب

*الفرق في الضغط بين مناسيب السحب والطردي للسائل في المنظومات المغلقة هو :

$$\text{Difference between suction and delivery} = \frac{P_{av} - P_e}{\rho \cdot g}$$

*الضغط الناتج عن فرق السرعات في الدخول والخروج وهو :

$$\frac{V_{av}^2 - V_e^2}{2g}$$

*مجموع الفواقد في الضغط $\sum H_J$

وهو مجموع الفواقد الناتجة من الإحتكاك بالمواسير والمحابس والقطع الخاصة في مواسير السحب والطردي .

وعلى ذلك يكون الرفع الكلي للمنظومة :

$$H_A = H_{geo} + \frac{P_{av} - P_e}{\rho \cdot g} + \frac{V_{av}^2 - V_e^2}{2g} + \sum H_J$$

وفي التطبيقات العملية يمكن إهمال الضغط الناتج من فرق السرعات في الدخول والخروج وتستخدم المعادلة

التالية في المنظومات المغلقة :

$$H_A = H_{geo} + \frac{P_{av}-P_e}{\rho \cdot g} + \sum H_J$$

والمعادلة التالية في المنظومات المفتوحة

$$H_A = H_{geo} + \sum H_J$$

5-11-4 سرعة الدوران

في استخدام المحركات الكهربائية فإن السرعة تتوقف على عدد أقطاب الملفات للمحركات وتكون السرعات الفعلية المتاحة هي على وجه التقريب كما في الجدول التالي :

عدد الأقطاب	2	4	6	8	10	12
سرعة الدوران RPM	2900	1450	960	725	580	480

وسوف نوضح كيفية حساب هذه السرعات فيما بعد .

5-11-5 حساب القدرة المستهلكة للمضخة pump absorbed power calculations

*القدرة الداخلة للمضخة pump power input

القدرة الداخلة للمضخة P هي الطاقة الميكانيكية على عمود المضخة الممتصة من الآلة المحركة لها وهي تحدد باستخدام المعادلة التالية :

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta} \cdot kW$$

*قدرة الآلة المحركة :

نتيجة لإحتمال التغيير في تصرف المضخة وبالتالي تغيير نقطة التشغيل عن تلك المحددة بالتصميم والذي يعني زيادة القدرة الداخلة للمضخة فإنه في التطبيقات العملية يلزم استخدام معاملات أمان safety margins عند تحديد قدرة المحرك ولا تقل هذه المعاملات عن الحدود الآتية :

النسبة	قدرة المحرك
30%	المحركات حتى 7.5 kW
25%	المحركات حتى 7.5 kW-40kW
20%	المحركات حتى 40 kW-100kW
15%	المحركات حتى >100 kW

وتحتسب هذه الزيادة من أقصى قدرة مستهلكة على عامود المضخة على مدى التشغيل المتوقع لها خلال منحنى سعة المضخة مع الرفع Q-H curve مع مراعات التالي :

قطر المروحة المطلوب ؛ أن يكون ضغط السحب الموجب الصافي المتاح $NPSH_{available}$ يكون أكبر من أو يساوي ضغط السحب الموجب الصافي المطلوب $NPSH_{req}$ ؛ وقيمة P/n لكراسي الإرتكاز للمضخة .

$$kW = \frac{Q \times SG \times H}{102.2 \times E}$$

where

Q = flow rate in litres/sec

H = total head in metres

SG = specific gravity of the liquid

E = pump efficiency at duty point

12- 5 التشغيل على التوازي operation in parallel

يتم تشغيل المضخات على التوازي في الحالات التالية :

*إذا كان التدفق المطلوب أكبر من تصرف المضخة الواحدة

*أن يكون للنظام إحتياجات تدفق متغيرة

وعادة ما تكون المضخات المركبة على التوازي لها نفس التصرف ؛ كما يمكن أن تكون أيضا مختلفة التصرفات ويتم التحكم في التصرفات بمتغير سرعات ؛ ولمنع الدوران الخلفي يركب محبس عدم رجوع لكل مضخة وأيضا محبس غلق ويتم تحديد منحنى الأداء الكلي بإضافة تدفقات المضخات Q1 و Q2 لكل قيمة من الرفع والتي تكون نفسها لكل المضخات H1=H2 ؛ وإذا كانت المضخات متماثلة فسيكون لمنحنى الأداء نفس الحد الأقصى للرفع أو الرفع الأقصى Hmax بينما يكون التصرف الأقصى Qmax مضاعف :

$$Q_{max} = Q_1 + Q_2 = 2 Q_1 = 2 Q_2$$

5-13 التشغيل على التوالي operation in series

يستخدم التوصيل على التوالي عادة للحصول على ضغط عالي هو نفس فكرة المضخات متعددة المراحل

5-14 تغيير أداء المضخة pump performance changing

5-14-1 ضبط أداء المضخة adjusting pump performance

عند إختيار مضخة من المهم إختيارها بحيث تكون نقطة التشغيل duty point في نقاط المنطقة عالية الكفاءة للمضخة وإلا سوف يكون هناك إستهلاك زائد للطاقة ؛ ولكن لسوء الحظ انه لا يمكن إختيار مضخة تحقق هذه الميزة لنقطة التشغيل بسبب إحتياجات المنظومة مثلا أو تغير منحنيات النظام عبر الوقت ؛ لذلك يجب ضبط أداء المضخة بحيث يلبي التغير في هذه الإحتياجات ومن أشهر الطرق لتغيير أداء المضخة الطرق التالية :

*التحكم بالخنق Throttle control

*التحكم بالمسار الخلفي bypass control

*تعديل قطر المروحة modifying impeller diameter

*الحكم في السرعة speed control

2-14-5 التحكم بالخنق Throttle control

يتم من خلال إستخدام محبس خنق Throttle valve ويتم وضعه على التوالي مع المضخة لضبط نقطة التشغيل من خلال التحكم في تصرف المضخة أو التدفق الخارج منها

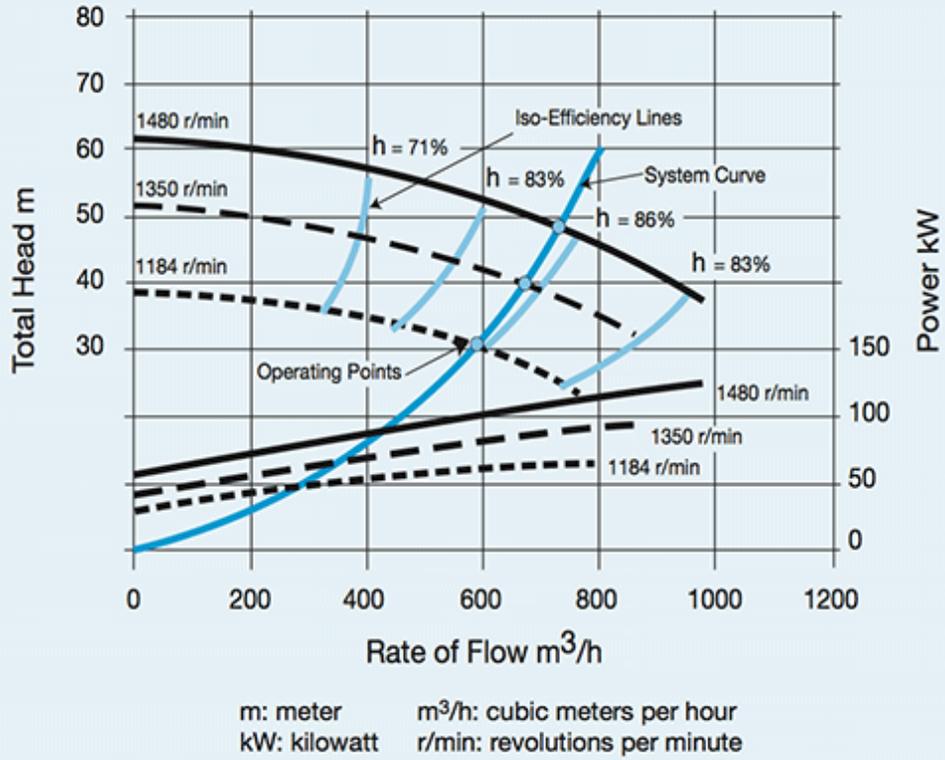
3-14-5 تغيير السرعة changing the speed

يمكن الحصول على منحنيات مختلفة لسرعات مختلفة لنفس المضخة وترتبط هذه المنحنيات بقانون التماثل ؛ فإذا كانت قيم التصرف هي Q1 والرفع H1 والقدرة P1 معروفة عند سرعة n1 فإن القيم لهذه المتغيرات عند السرعة الجديدة n2 يمكن الحصول عليها من المعادلات التالية :

$$Q2 = \frac{n2}{n1} * Q1$$

$$H2 = \left(\frac{n2}{n1} \right)^2 * H1$$

$$P2 = \left(\frac{n2}{n1} \right)^3 * P1$$



5-14-4 تشذيب أو خرق مروحة المضخة trimming the impeller

للحصول على تقليل مستديم في خرج المضخة الطاردة المركزية التي تعمل على سرعة ثابتة يلزم تقليل قطر المروحة D

*تحتوي كالتلوجات المضخات على منحنيات مختارة لهذه المضخات عند أقطار نمطية للمراوح ويمكن الحصول على أي منحنى آخر بين تلك المنحنيات عن طريق خرق المروحة الكبر قطرا

*عند تغيير قطر المروحة للمضخة ذات الإنسياب القطري radial flow pump فإن العلاقة التي تربط التصرف Q والرفع H والقطر D هي :

$$= \frac{H1}{H2} = \frac{D1Q1}{D2Q2}$$

$$D2 = D1 * \sqrt{\frac{Q1}{Q2}}$$

$$D2 = D1 * \sqrt{\frac{H1}{H2}}$$

* وباستخدام الرسم البياني الخاص بمنحنى المضخة Q-H يتم رسم خط مستقيم يمر من نقطة الأصل للمنحنى عند قيمة Q=0 و H=0 عند نقطة تشغيل بحيث يقطع المنحنى الأصلي للمروحة ذات القطر الأكبر D1 المراد خرقه عند نقطة تشغيل أخرى وبعد تحديد قيم كل من Q و h في الحالتين تستخدم هذه القيم للحصول على القيمة التقريبية للقطر الجديد D2

5-14-5 توصيف المضخات بمحطة الرفع

بعد تحديد التدفقات الواردة إلى محطة الرفع على مدى الفترة التصميمية لها بدءاً من التدفقات الحالية وحتى التدفقات المستقبلية المتوقعة في نهاية تلك الفترة (العام الهدف) وكذلك تحديد منسوب الدخول إلى بئارة المحطة ومنسوب خط الطرد الخارج من المحطة يتم توصيف المضخات المستخدمة في محطة الرفع كالتالي :

* عدد المضخات المركبة بالمحطة

* تصرف كل مضخة

* الرفع ومدى التشغيل للمضخة

* متطلبات التصميم للمضخة (النوع ؛ وسرعة الدوران ؛ وسرعة دخول المياه إلى فتحة المص ؛ و قطر

الأجسام الصلبة المسموح بمرورها .. الخ)

* خامات التصنيع لأجزاء العملية

* طريقة تركيب المضخة (رأسية بإتصال مباشر عن طريق عمود كردان أو تركيب أفقي أو غاطسة)

5-14-6 عدد المضخات المركبة بالمحطة

يتوقف عدد المضخات المركبة بالمحطة على التدفق الوارد لها وطبيعة المحطة من حيث كونها دائمة أو مؤقتة أو فرعية أو رئيسية ومعدلات التدفقات الواردة لها على مدار العام وخلال ساعات اليوم ؛ كما يتوقف على نوع المضخات المستخدمة ومدى حاجتها لأعمال الصيانة الدورية وسهولة فك وتركيب المضخة وقطع الغيار المتوفرة لها وأهمية استمرارها في العمل تحت ظروف التشغيل العادية وفي حالات الطوارئ ومدى تأثير توقف المحطة عن العمل على البيئة المحيطة بها (ظروف الموقع) وعلى قدرة شبكة الإنحدار بالمنطقة المخدومة على التخزين وتوفير وسائل التنظيف والتطهير الذاتي لمواسير الشبكة ؛ وفي كل الأحوال فإن عدد المضخات المركبة بالمحطة يجب أن تخضع للعلاقة التالية :

عدد المضخات المركبة = عدد المضخات العاملة لرفع التدفق الوارد لساعة الذروة + مضخة إحتياطية + مضخة واحدة على الأقل في الصيانة

ويراعي ألا يزيد عدد المضخات العاملة بالمحطة عن 50% عن عدد المضخات المركبة وأن تكون المضخة الإحتياطية ذات تصرف يعادل تصرف أكبر المضخات المركبة العاملة بالمحطة وذلك إذا كانت المضخات غير متساوية التصرفات وتوضع مضخة إضافية من كل تصرف مركب ويعمل بإعتبارها في الصيانة علاوة على المضخات العاملة والإحتياطية.

5-14-7 حساب تصرف المضخة

لحساب تصرف كل مضخة من المضخات المركبة بالمحطة نتبع الآتي :

* بالنسبة للمضخات المتماثلة في التصرف عند نفس نقطة الرفع : يتم تحديد أقصى تدفق وارد للمحطة Q_{max} ثم يتم حساب تدفقات ساعات الذروة Q_p وذلك بإستخدام معامل الذروة P.F المناسب طبقا لسعة المحطة ؛ ثم نحدد عدد المضخات اللازمة والتي ستعمل لرفع التدفقات لساعات الذروة Q_p وهو عادة 1-2 مضخة بالنسبة للتصرفات حتى 200L/s و 2-3 مضخة بالنسبة للتصرفات من 200L/s - 1500L/s

و3-4 مضخة بالنسبة للتصرفات من $1500L/s >$ ؛ ويتم حساب تصرف المضخة الواحدة L/s من العلاقة التالية :

$$Q = \frac{Q_p}{\text{number of run pumps}} L/s$$

*بالنسبة للمضخات المختلفة التصرفات في نفس المحطة : تستخدم المضخات مختلفة التصرفات في نفس المحطة وذلك في حالة عدم إنتظام التدفقات الواردة للمحطة على مدى فصول العام أو على مدى ساعات اليوم بقدر كبير ولا يمكن إستيعابه عن طريق التخزين بالبيارة ؛ وعلى ذلك تكون المضخات العاملة على مدى ساعات اليوم متغيرة مع تغير التدفقات الواردة ؛ ويتم تحديد عدد وتصرفات المضخات المستخدمة طبقاً للمنحنى البياني للتدفقات الواردة للمحطة .

ويراعى عند تحديد تصرفات وعدد المضخات المختلفة التصرفات إستخدام مضخة أو أكثر لرفع التصرفات المتوسطة طبقاً لسعة المحطة كما سبق أعلاه ؛ مضخة أو أكثر تدخل الخدمة عند منسوب محدد للمياه المجمعة بالبيارة (منسوب 1) ؛ ومضخة أو أكثر تدخل الخدمة عند المنسوب الأعلى المسموح به لتجميع المياه بالبيارة (منسوب 2)

5-15 محددات الأداء

5-15-1 محددات الأداء الكمية في المضخات

*معدل التصرف (م ٣ /س) أو (ل /ث)

*ارتفاع الضغط عبر الطلمبة (نيوتن /م ٢) أو (كجم /سم ٢) أو متر .

وغالباً ما يعبر عنه بمقدار ضاغط المضخة (الرفع) وهو ارتفاع عمود السائل الذي تحدثه الطلمبة ويقاس بالمتر .

والمضخة ذات الانسياب المحورى هى التى تحقق أقصى معدل تصرف ممكن، أما المضخة الترددية الموجبة فهى التى تعطى أقصى قيمة للضغط (الرفع)

2-15-5 تقسيم الطلبات طبقاً لمحددات الأداء

ما بين المضخة ذات الانسياب المحورى والمضخة الترددية الموجبة تقع باقى أنواع المضخات .

3-15-5 الخطوات الضرورية عند بداية تشغيل الطلمبة لأول مرة:

- 1- يجب أن يقوم بالعمل شخص مؤهل ومدرب، كمندوب الشركة الصانعة، أو المهندس الاستشارى، حتى يستطيع المشغل الحصول على البيانات والمعلومات التى تساعده على تشغيل الطلمبة بسهولة ويسر وأمان.
- 2- قبل بداية تشغيل الطلمبة، يجب تشحيم الطلمبة وفقاً لتعليمات التشحيم، لف عمود المضخة يدوياً والتأكد من دورانه بحرية وسهولة، لف عمود المضخة يجب التأكد من أن العمود والمحرك مصطفان على نفس الخط، وأن الوصلة المرنة بين المحرك والطلمبة مضغوطة
- 3- التأكد من أن خصائص التيار الكهربائى متوافقة مع مواصفات المحرك والتأكد من سلامة التوصيلات الكهربائىة
- 4- تشغيل المحرك لفترة وجيزة لاختبار اتجاه الدوران والتأكد من أن المحرك يدير الطلمبة باتجاه أسهم الإدارة المبينة على الطلمبة
- 5- فى حال وجود وحدات منع تسرب الماء المنفصلة أو نظام تحضير بالخلطة يجب أولاً تجربة هذه الوحدات والتأكد من عملها بشكل جيد.
- 6- التأكد من أن محبس الطرد مفتوح في حالة الطلبات المحورية ومغلقة في حالة الطلبات الطاردة المركزية.
- 7- الانتباه إلى أنه لا يجوز تشغيل الطلمبة قبل تحضيرها بالماء (سحب الهواء من جسم الطلمبة وماسورة السحب) لبدء العمل، ولتشغيل الطلمبة يجب أولاً ملء الطلمبة بالكامل بالماء، وذلك لتفريغ الهواء من الطلمبة (أحياناً ما يتم ذلك بشكل تلقائى)، وأحياناً يوجد صمام خاص لإكمال العملية، إذ لا يجوز تشغيل الطلمبة قبل تحضيرها وسحب الهواء منها.

4-15-5 الخطوات الضرورية بعد تشغيل الطلمبة

*التأكد من أن اتجاه الدوران صحيحاً وفقاً للأسهم المبينة على المضخة

- *التأكد من عدم وجود تسرب للماء من صناديق الحشوات .
- *مراجعة حرارة كراسي التحميل بسبب قلة أو زيادة التشحيم .
- *التأكد من أن الوصلة المرنة تعمل بسلاسة ولا يصدر عنها صوتاً مزعجاً، أما في حال كونه مزعجاً، فالسبب قد يعود إلى عدم إصطفاف المحرك مع العمود على نفس الخط.
- *تفحص صلابة تثبيت الطلمبة .

*مراجعة شدة التيار المسحوب ومقارنته بالتيار المقنن والمدون على كارت التشغيل.

وللتأكد من أن الطلمبة الجيدة تعطى كمية التدفق والضغط التصميمي فإنه يجب قياس كلاً من التدفق والضغط ومقارنتهما بقيم ومنحنيات الأداء وفقاً لتعليمات المصنع، وفي حال عدم توافق القيم الواقعية مع بيانات المصنع، فيجب البحث عن أسباب الخلل التي قد تكون في الخطوط أو التوصيلات مع فحص مواقع التسرب إن وجدت.

5-15-5 الأسباب التي تؤدي إلى خفض تصرف المضخة :

يمكن إيجاز بعض مشاكل التشغيل التي تؤدي إلى خفض كفاءة الطلمبة وبالتالي تؤدي إلى خفض كمية تصرف الطلمبة

- *الطلمبة غير مفرغة من الهواء بالكامل .
- *سرعة المحرك بطيئة جداً .
- *عمود الضخ عالٍ جداً (الضاغط المانومتري) مروحة الطلمبة مسدودة
- *مدخل خط السحب مرتفع مما يسمح للهواء بالدخول إليه اثناء السحب .
- *الصمامات مغلقة كلياً أو جزئياً .
- *تقادم المروحة مما أدى الي تآكل اجزاء منها .
- *خلل في خابور ربط الريشة بعمود الطلمبة .
- *كسر في الوصلة المرنة .
- *تقادم حلقات التآكل

5-15-6 قياس كفاءة المضخات

من المهم قياس والتعرف على كفاءة أداء المضخات الطرد المركزي، وتستخدم طريقتان لتقييم وتحليل أداء مضخات الطرد المركزي .أما الطريقة الأولى فهي حساب الكفاءة الكلية للمضخة وهذه الطريقة تعتمد على

مقدار الطاقة الميكانيكية لعمود إدارة المضخة (القدرة الفرمالية) أما الطريقة الثانية فهي حساب الكفاءة الهيدروليكية للمضخة والتي تعتمد على حساب قيمة الطاقة المعطاة للسائل في الجزء الدوار للمضخة.

7-15-5 تحديد الكفاءة الكلية للمضخة عمليا

نحتاج في بعض الأحيان إلى تحديد حالة المضخة وكفاءتها الكلية ومقارنتها بالكفاءة التصميمية للمضخة حيث أن ذلك يساعد في:

- تحديد مدى احتياج المضخة إلى عمرة كاملة وتغيير ما يلزم (مروحة /شنابر /بللى ... الخ).

*قياس وتحديد كفاءة المضخة بعد إجراء عمرة لها .

*تحديد مدى الحاجة إلى استبدال المضخة بأخرى جديدة أو تقرير صلاحيتها واستمرارها في العمل.

*التخطيط المستقبلي لتحديد الحاجة من المهمات أو قطع الغيار.

ويمكن اتباع الطرق التالية لحساب كفاءة المضخة عمليا:

*تحديد تصرف المضخة بالتر /ث

*تحديد الرفع الذي تعمل عنده المضخة

*حساب القدرة الهيدروليكية المستهلكة بالحصان من المعادلة $P=QH75$

*حساب القدرة الهيدروليكية بالكيلووات

*قياس القدرة المستهلكة فعليا باستخدام عداد الكيلووات .ساعة

8-15-5 اختبار وتقييم أداء الطلبات

يجب على مشغلي محطات معالجة مياه الصرف الصحي عمل الإجراءات اللازمة لتقييم أداء المضخات للوقوف على مدى كفاءتها ومدى مناسبتها للأعمال المنوطة بها ومدى احتياجها للأحلال والتجديد من عدمه، ولأداء هذه

المهمة، يجب إجراء القياسات والفحوص التالية: قياس زمن التحضير اللازم لتشغيل الطلمبة (إذا كانت مزودة بنظام تحضير).

*قياس ضغط السحب وكذلك ضغط الطرد للمضخة .

*قياس درجات الحرارة على كراسي التحميل المضخة والمحرك .

*قياس حمل وجهد التشغيل لمحرك المضخة.

*قياس سرعة دوران عمود الإدارة للمضخة والمحرك

- *قياس درجة الاهتزاز للمضخة والمحرك وتحديد صلاحية كل منهما
- *مراجعة درجة الخلوص بين المروحة وجسم المضخة وبين قسمي الضغط المنخفض والعالي داخل المضخة.
- *تحديد درجة التآكل بجسم المضخة والمروحة .
- *الفحص الظاهري للمكونات الكهربائية باللوحات .
- *الفحص الظاهري للمحركات والكابلات والمحولات .
- ويجب توفير أجهزة القياس اللازمة لقياس البنود التالية:
- *درجة اهتزاز المجموعة (المضخة والمحرك)
- *درجة حرارة كراسي التحميل وجسم المحرك.
- *سرعة دوران عمود الإدارة للمضخة.
- *قياس تيار تشغيل محرك المضخة .
- *جهاز اختبار العزل .

5-16 المحركات الكهربائية

5-16-1 أساسيات التشغيل

يعتمد تشغيل وحدات محطات الصرف الصحي على المحركات الكهربائية بصفة أساسية، ومن هنا جاءت أهمية تشغيل وصيانة المحركات الكهربائية بطريقة صحيحة وسليمة وآمنة. وهذا لا يتأتى إلا بالإلمام التام والمعرفة الكافية بكيفية عمل المحركات ومكوناتها وأنواعها واستخداماتها والطرق المثلى لتشغيلها وصيانتها وإصلاحها.

بعد استلام أى محرك وفحصه وتركيبه أو بعد توقفه لفترة طويلة أو بعد إصلاحه، يجب إجراء بعض الاختبارات عليه قبل تشغيله وهى ما تسمى باختبارات ما قبل التشغيل "أو إجراءات ما قبل التشغيل.

5-16-2 إختبارات ما قبل بدء التشغيل الأولى

بعد إتمام تركيب المحرك وقبل بدء التشغيل يجب مراجعة ما يلى:

1- راجع توصيلات المحرك والمقوم وتوصيلات دوائر التحكم، يجب أن تكون جميع التوصيلات مطابقة للرسومات.

2- تأكد من أن جهد وتردد مصدر التغذية مطابقة للبيانات الموجودة على لوحة البيانات للمحرك.

3- إذا كان قد تم تخزين المحرك سواء قبل التركيب أو بعده، راجع الإرشادات الخاصة بذلك بكتيب المصنع لإعداد المحرك للخدمة.

4- راجع سجل الخدمة والبطاقة المصاحبة للمحرك للتأكد من أن كراسى التحميل تم تشحيمها بالطريقة المناسبة.

5- كراسى التحميل التي تستخدم الزيت، يتم شحنها من المصنع بدون زيت، يجب ملء الخزان بالزيت قبل التشغيل.

3-16-5 بدء التشغيل الأولي

1- إذا أمكن، افصل الحمل الخارجى عن المحرك، ولف العامود باليد للتأكد من أن الدوران يتم بدون أى إعاقة.

2- ابدأ تشغيل المحرك بأقل حمل لمدة كافية لاختبار إتجاه الدوران والتأكد من عدم وجود حالات غير عادية.

3- اصغ لأى ضوضاء زائدة، والإهتزاز غير العادى، وصوت الطقطقة، إذا تبين وجود أى من هذه الحالات افصل القدرة الكهربائية عن المحرك فوراً. راقب بكل إهتمام وعناية أى ملاحظات غير عادية تحدث أثناء توقف المحرك، ابحث عن السبب وحاول إصلاحه قبل وضع المحرك فى الخدمة.

5- عمليات البدء والتوقف المتكررة قد تسبب زيادة الحرارة وتلف العزل. انتظر فترة من الوقت بين كل إيقاف وبدء، لإعطاء فرصة لتبريد

6- مرات فى - الملفات، يجب ألا تزيد عدد مرات التشغيل للمحرك عن ٤ الساعة على أقصى تقدير.

7- عندما تكون جميع المراجعات التي تمت مرضية، شغل المحرك بأقل حمل وتنبه لأى ملاحظات غير عادية؛ زد الحمل تدريجياً وببطء حتى تصل إلى التحميل الكامل؛ تأكد من أداء المحرك بطريقة مرضية.

4-16-5 التشغيل المعتاد للمحرك

ابدأ تشغيل المحرك طبقاً للإرشادات الخاصة ببدء تشغيل المحرك مع المعدة المركب عليها. فى بعض الأحيان يتم تقليل الحمل إلى أقل قيمة، خاصة عند بدء التشغيل.

5-16-5 أهم المشاكل التي تتعرض لها المحركات أثناء التشغيل

من المعروف أن المحركات الحثية حساسة وتعتبر جزءاً رئيسياً في تشغيل وحدات محطات الصرف الصحي وزيادة كفاءتها. فإذا حدثت بها أعطال فقد يكون ذلك أمراً خطيراً جداً لأن توقف ضخ الطلمبات يخلق مشاكل حرجة في التشغيل بالإضافة إلى أن إصلاح أو تغيير المحرك يكون مكلفاً جداً. فإذا تم تشغيل المحرك في ظروف من النظافة والجفاف طبقاً للحمل وخصائص التشغيل المدونة بلوحة تسمية المحرك، فليس هناك أي سبب يمنع تشغيل المحرك لسنوات وسنوات بدون أعمال صيانة كبيرة ومكلفة. لكن هناك عدداً من العوامل المختلفة التي تجعل المحرك يعمل خارج المقننات الخاصة به. وعندما يحدث هذا فإن عمر المحرك يقل بدرجة كبيرة. وفيما يلي عرض لبعض المشاكل التي تواجه تشغيل المحركات وحلولها:

المشكلة رقم (1) التلوث:

التلوث هنا يعني رواسب الأتربة والشحم وخلافة، فانهيار العزل يمكن أن يحدث عندما تتجمع رواسب الأتربة والشحم، أو أي مواد غريبة على الملفات وتمنع إشعاع الحرارة المتولدة في ملفات المحرك أثناء التشغيل العادي، وهذا يسبب تكون بقع ساخنة موضعية في الملفات، وعندما ينهار العزل تماماً، سوف يسبب قصر بين وجه وآخر يميزه حدوث شرر، و بالتالي انصهار بين ملفات الأوجه.

الحل:

حافظ على المحرك نظيفاً وخالياً من ملوثات الأوساخ أو الشحم. اتبع توصيات الصانع بخصوص طريقة التشحيم والمواد المستخدمة لتشحيم كراسي التحميل للمحرك.

مشكلة رقم ٢ دورة تشغيل قصيرة أو بدء دوران زائد عن الحد:

يحدث هذا عندما يقوم نظام التحكم الأتوماتيكي بعمليات توقف متكررة للطلمبة والمحرك في محطات الرفع استجابة للتغير في مناسيب البئر المبتلة بسبب عيب في نظام التحكم نفسه، أو نقص كمية المياه الواردة للمحطة عن المعدل التصميمي لها.

عندما يبدأ المحرك الحثي في الدوران، فإن التيار المطلوب لمغنطة الملفات وبدء دوران العضو الدوار يمكن أن يصل من ٥ إلى ٨ مرات مثل تيار التشغيل المقنن (طبقاً للوسيلة المستخدمة في بدء الحركة) على سبيل المثال، إذا كان التيار المعتاد للمحرك ١٠٠ أمبير للحمل الكامل فإن تتابع الحركة سيتطلب من ٥٠٠ إلى ٨٠٠ أمبير لبدء حركة المحرك.

فعندما يحدث تكرار لعملية البدء .فإن الحرارة المتولدة من تيارات البدء لا يكون لها فرصة الإشعاع وبالتالي فإن درجة حرارة الملفات الداخلية ترتفع مع كل بدء متتابع للمحرك .وبطريقة نمطية فإن المحركات حتى ١٠٠ حصان يجب ألا يزيد عدد مرات التشغيل عن ٤ - ٥ مرات في الساعة، وكلما زادت القدرة الحصانية يجب أن يقل عدد مرات البدء في الساعة.

الحل:

-الالتزام بعدد مرات التشغيل طبقاً لكتالوج الشركة المصنعة.

-الحركة بالجهد المنخفض، وغالباً ما تستخدم طريقة خفض الجهد في بدء الحركة بنظام بدء الحركة الناعم.

مشكلة رقم ٣ درجة الحرارة المحيطة بالمحرك مرتفعة:

إذا زادت درجة حرارة الغرفة المحيطة والموجود بها المحرك عن تلك المحددة على لوحة التسمية، فهذا سيؤدي إلى درجة حرارة تشغيل داخلية عالية .درجة الحرارة المحيطة في جميع أنواع العزل محددة بأربعين درجة مئوية 40° م

الحل:

وفر تهوية مناسبة أو جهز محركات خارج المباني، خاصة إذا كان المناخ جنوبي حيث يمكن أن تزيد درجة حرارة المحيطة عن 40° م

مشكلة رقم ٤ زعانف جسم المحرك معاقة

جميع أجسام المحركات مصممة لأقصى إشعاع للحرارة المتولدة داخلياً.

الحل:

في المحركات المفتوحة ذات الحواف المعدنية القوية لا توجد أي إعاقات بفتحات التهوية .ولكن في المحركات المقفولة، وذات التبريد بالمروحة فإن الاتساخات والشحم والأتربة التي تتكون على حواف الجسم سوف تقلل من قدرة الجسم على إشعاع الحرارة .حافظ على جسم المحرك نظيفاً.

مشكلة رقم ٥ غياب أحد الأوجه:

غياب أحد الأوجه تشير إلى الحالة التي يحدث فيها نقص أحد الأوجه سواء من شركة الكهرباء أو نتيجة احتراق أحد المصهرات بلوحة التحكم في المحركات .في مثل هذه الحالات فإن المحرك الاستنتاجي (الحثي) الذي يكون في حالة تشغيل سيستمر في الدوران، وسوف يسبب مزيداً من الضوضاء والاهتزاز مع ارتفاع كبير للتيار المسحوب إلى أن

تحس به أجهزة الحماية ويفصل عن طريق ريليهات زيادة الحمل.
إذا كان المحرك لا يعمل أصلاً فالمحرك لن يقوم أو يدور طالما أن أحد الأوجه مفقود. ويتسبب فقد أحد الأوجه في تولد تيارات غير متزنة تدور في العضو الدوار ينتج عنها زيادة في درجة حرارة المحرك الداخلية تيار الوجه الناقص يوزع على الوجهين الباقيين

الحل:

لتصحيح وضع نقص أحد الأوجه، حدد السبب في غياب الوجه، هل هو شركة الكهرباء (مشكلة عامة) أو احتراق أحد المصهرات أو فصل في قاطع الدائرة في لوحة تحكم المحرك و بمجرد معرفة السبب وتحديده، يصبح من السهل تصحيحه بالاتصال بشركة الكهرباء وإبلاغها بنقص أحد الأوجه. أو بتغيير المصهر المحترق أو فحص قاطع الدائرة وإعادة تشغيله.

مشكلة رقم ٦ زيادة حمل المحرك:

وهو عبارة عن تشغيل المحرك بطريقة تجعله يسحب تياراً زائداً عن ما هو مدون بلوحة البيانات. يمكن أن يحدث تعدى الحمل بدون قصد من خلال تشغيل غير سليم للطلبة بتغيير قطر المروحة أو من خلال تغيير في ظروف التشغيل الديناميكي للطلبة الذي يغير من الرفع الديناميكي الكلي.

توجد بعض حالات أخرى يمكن أن تسبب زيادة حمل المحرك، تشمل مشاكل كراسي التحميل وحشر جسم بين المروحة الدوارة وجسم الطلبة (الغلاف) كذلك عندما تتداخل خرق أو صخور أو أخشاب في فتحات المروحة أو بين المروحة وجسم الطلبة فإن هذا يتطلب طاقة أكبر لإدارة الطلبة وتسبب زيادة الحمل.

الحل:

مطلوب تفهم كامل لعلم الهيدروليكا وظروف التشغيل الحالية قبل إجراء أى تغيير في حالة الطلبة من حيث أن التغييرات غير السليمة قد يكون لها تأثيرات سيئة على المحرك. لا بد أن نكون على علم ومعرفة بما تفعله قبل إجراء أى تغييرات.

مشكلة رقم ٧ عدم اتزان الجهد:

تغيير قيمة الجهد: فى حدود $\pm 10\%$ على الأوجه الثلاثة معاً. عدم تماثل الجهد على الثلاثة أوجه لا يزيد عن $\pm 5,2\%$ بين الوجه والآخر لأنه يسبب عدم تساوى فى التيار فى حدود $\pm 10\%$ الذى يؤدى بدوره إلى ارتفاع زائد فى حرارة المحرك بنسبة 20% والتي تؤدى إلى انخفاض مقاومة عزل الملفات. أسباب عدم تماثل أو عدم إتران الجهد على الأوجه الثلاثة:

1- انخفاض جهد أحد الأوجه من المصدر.

2- تلف أحد ملفات المحرك.

3- التوصيلات المفككة والمقاومة العالية لنقط التلامس بقواطع الدائرة أو مقومات الحركة.

مشكلة رقم ٨ عدم إتران التيار أو الحمل:

يجب مراجعة التيار المار بالمحرك من حيث إترانه فى الأوجه الثلاثة، ويتم قياس التيار عن طريق أجهزة التيار المبينة بلوحة التشغيل أو باستخدام بنسة الأمبير أسباب حدوث عدم إتران التيار:

1- مصدر الكهرباء الخارجية بما فى ذلك لوحة التحكم.

2- مشكلة داخلية فى ملفات المحرك أو فقد فى كابلات العضو الثابت.

5-17 مسؤوليات وواجبات القائمين على تشغيل معدات محطات المعالجة

تحدد مسؤوليات وواجبات القائمين على تشغيل محطات المعالجة فى القيام بعدة مهام أساسية كما يلى:

1- تشغيل المعدات وإيقافها حسب تعليمات التشغيل والبرامج الزمنية لها.

2- ملاحظة ومراقبة أحوال التشغيل وتسجيلها لتحديد كفاءة تشغيل المعدات وتوقع الصيانات المطلوبة واحتياجات المحطة حتى تستمر فى العمل بكفاءة.

3- تنظيم تشغيل المعدات بالتبادل.

4- القيام بأعمال الصيانة الروتينية البسيطة فى المحطة، مثل عمليات التشحيم والتزييت للمعدات.

5- مراعاة تنفيذ تعليمات الأمن الصناعى أثناء العمل.

6- القيام بتسجيل بيانات التشغيل فى النماذج الخاصة بذلك.

7- يراقب المعدات الكهربائية والميكانيكية وانتظام عملها.

- 8- الإبلاغ عن أية أعطال أو ظواهر غير طبيعية في المعدات إلى رؤسائه
- 9- الفحص الظاهري للمعدات دورياً وحسب المهام المحددة، وخاصة قبل التشغيل.
- 10- تحميل المحطة على خطوط الكهرباء البديلة في حالة انقطاع التيار الكهربى عن الخطوط الرئيسية.
- 11- تشغيل وحدات التوليد الاحتياطية وإدخالها فى الخدمة عند الحاجة إليها
- 12- متابعة وقراءة وتسجيل قراءات أجهزة القياس (الضغط - الحرارة - التصريف)
- 13- إيقاف المحطة فى حالة الطوارئ وإعادة التشغيل بعد زوال السبب أو العطل.

18-5 نماذج التشغيل

1-18-5 نموذج الإبلاغ عن عطل معدة.

هو نموذج يمكن المشغل من تسجيل الأعطال اليومية ويجب ان تتوفر للمشغلين في الورديات المختلفة وهذا مثال لها

 	
بلاغ عن عطل	
اسم المحطة :	التاريخ : / /
اسم المعدة المتعطلة :	الوقت : :
وصف العطل	
.....	

.....
اسم المبلغ.....

التوقيع :.....

2-18-5 نظام أمر التشغيل

تتكلف صيانة المعدات والمنشآت تكاليف كبيرة ولكنها ضروري وقد تم وضع نظام أمر الشغل الذي يجب تطبيقه في هذه المحطة ويمكن تطبيقه ايضا في غيرها من المحطات لبدء أعمال الصيانة والتحكم في سريان العمل وتسجيل الأعمال التي تم أدائها والتكاليف المتعلقة بها .ويجب تسجيل جميع أعمال الصيانة الوقائية والتصحيحية والتركيبات في نظام أمر الشغل حتى يمكن تجميع كل المعلومات وحساب جميع التكاليف. ويمكن بدء أمر الشغل بواسطة الشخص المسئول عن جداول الصيانة الوقائية أو بواسطة العاملين بالتشغيل أو بواسطة أى شخص آخر يتولى هذه المسئولية في المحطة ويتم إرسال أمر الشغل إلي الأفراد المسئولين في قسم الصيانة سواء في المحطة أو في الورش المركزية (إن وجدت) بعد ذلك يتم إسناد مهمة تنفيذ ما ورد بأمر الشغل إلي الأشخاص المناسبين طبقا لنوعية العمل الذي يتم أدائه أما الأعمال التي تتطلب إمكانيات أو معدات خاصة غير متوفرة بقسم الصيانة بالشركة فيمكن إسنادها إلي مقاول أو ورشة بالقطاع الخاص. عند انتهاء العمل يقوم العاملین بتسجيل المعلومات التالية في أمر الشغل:

1- وصف العمل الذي تم أدائه للمعدة

2- عدد الأشخاص الذين قاموا بالعمل وعدد ساعات العمل التي استغرقوها

3- قطع الغيار التي تم استخدامها وأرقامها (رقم الجزء، الرقم المخزني)

4- أنواع وكميات المواد الأخرى التي استخدمت مثل الزيت والشحم والمسامير ومواد وأدوات

التنظيف حيث يقومون بإضافة الأعمال إلي السجل الزمني(التاريخي) لصيانة المعدة

؛ بعد ذلك يتم إرسال نسخة من أمر الشغل إلي الإدارة المسئولة وهي فرع وزارة الزراعة والمياه والبيئة ونسخة يتم الإحتفاظ بها في ملفات المحطة.

والشكل التالي يوضح نموذج لأمر تشغيل



رؤية
2030
المملكة العربية السعودية
KINGDOM OF SAUDI ARABIA

Quality Management

Department of Water and Sanitation Laboratory

وزارة البيئة والمياه والزراعة
Ministry of Environment, Water & Agriculture
المملكة العربية السعودية



أمر عمل صيانة

الموقع ١

أمر شغل رقم _____ التاريخ : / / 2017 صادر بواسطة _____

أسم المحطة : _____

رقم المعدة : _____ اسم المعدة : _____

نوع الصيانة : وقائية تصحيحية تركيبات خارجية

كهرباء ميكانيكا سباكة مدنى

الأولوية : طارئ عاجل روتينى

وصف المشكلة أو أعمال الصيانة المطلوبة :

العدد -قطع الغيار -الأجهزة المواد المطلوبة

الأعمال التي تم إنجازها :

الأفراد القائمون بالعمل

الإسم	الوظيفة	ساعات العمل	تكلفة العمالة

قطع الغيار والمواد الخام والأجهزة المستخدمة

الإسم	رقم الجزء او الرقم المخزني	الكمية/الزمن	ثمن القطعة
التكلفة الكلية			
التوقيع	تاريخ الإنتهاء :		

3-18-5 بطاقة بيانات المعدة (بطاقة بيانات فنية لمضخة)

					
Total Quality Management Department of Water and Sanitation Laboratory		وزارة البيئة والمياه والزراعة Ministry of Environment, Water & Agriculture المملكة العربية السعودية			
أمر تشغيل صيانة سجل البيانات الفنية للمعدات					
					محطة :
					الموقع :
					الطلبة
		الرقم الكودي	نوع الطلبة		
		سنة الصنع	اسم المصنع		
		الرقم المسلسل	الطرز		
		الرفع	سعة التصريف		
		نوع الزيت / الشحم	رقم الكرسي (1)		
		نوع الزيت / الشحم	رقم الكرسي (2)		
		مقاس الحشو			
					مانع تسرب ميكانيكي
					قطر السحب
		قطر الطرد	نوع محبس السحب		
		نوع محبس الطرد	تاريخ التركيب		
الموتور الكهربائي					
		سنة الصنع	اسم المصنع		
		رقم التسلسل	رقم الطراز		
	التردد	التيار	الجهد	القدرة	
		طريقة البدء	السرعة		
		نوع الزيت / الشحم	رقم الكرسي (1)		

