

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA MÔI TRƯỜNG

ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP - CAPSTONE PROJECT

NGÀNH: MÔI TRƯỜNG
CHUYÊN NGÀNH: QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI
TRƯỜNG

ĐỀ TÀI:

NGHIÊN CỨU ÁP DỤNG CÔNG TRÌNH ĐẤT
ƯỚT LÀM SẠCH HOÀN TOÀN NƯỚC THẢI SAU
XỬ LÝ SINH HỌC HƯỚNG ĐẾN TÁI SỬ DỤNG
NƯỚC

Người hướng dẫn: PGS. TS. TRẦN VĂN QUANG
Sinh viên thực hiện: TRẦN HƯNG QUỐC DUY
Số thẻ sinh viên: 117200036
Lớp: 20QLMT

Đà Nẵng, tháng 6/2025

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA MÔI TRƯỜNG

**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP - CAPSTONE
PROJECT**

**NGÀNH: MÔI TRƯỜNG
CHUYÊN NGÀNH: QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI
TRƯỜNG**

ĐỀ TÀI:

**NGHIÊN CỨU ÁP DỤNG CÔNG TRÌNH ĐẤT
ƯỚT LÀM SẠCH HOÀN TOÀN NƯỚC THẢI SAU
XỬ LÝ SINH HỌC HƯỚNG ĐẾN TÁI SỬ DỤNG
NƯỚC**

Người hướng dẫn: **PGS. TS. TRẦN VĂN QUANG**
Sinh viên thực hiện: **TRẦN HƯNG QUỐC DUY**
Số thẻ sinh viên: 117200036
Lớp: **20QLMT**

Đà Nẵng, tháng 6/2025

NHẬN XÉT CỦA NGƯỜI HƯỚNG DẪN

TÓM TẮT ĐỒ ÁN

Tên đề tài: Nghiên cứu áp dụng công trình đất ướt làm sạch hoàn toàn nước thải sau xử lý sinh học hướng đến tái sử dụng nước

Sinh viên thực hiện: Trần Hưng Quốc Duy

Mã số thẻ sinh viên: 117200036

Lớp: 20QLMT

Nội dung đồ án gồm:

Nhiệm vụ 1. Các quá trình công nghệ xử lý chất hữu cơ và chất dinh dưỡng bằng phương pháp sinh học

1.1. Nước thải công nghiệp và các phương pháp xử lý

1.2. Các quá trình và công trình xử lý nước thải công nghiệp bằng phương pháp sinh học

1.3. Quá trình đất ướt

Nhiệm vụ 2: Nghiên cứu thực nghiệm quá trình chuyển hoá chất hữu cơ và nitrat hoá

2.1. Mục đích

2.2. Đối tượng, nội dung và phương pháp

2.3. Kết quả thảo luận

Nhiệm vụ 3: Nghiên cứu thực nghiệm quá trình làm sạch hoàn toàn nước thải sau xử lý sinh học

3.1. Mục đích

3.2. Mô hình thực nghiệm

3.3. Các kết quả nghiên cứu và đề xuất

NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP - CAPSTONE PROJECT

TT	Họ tên sinh viên	Số thẻ SV	Lớp	Ngành
1	Trần Hưng Quốc Duy	117200036	20QLMT	Quản lý tài nguyên và môi trường

1. Tên đề tài đồ án:

Nghiên cứu áp dụng công trình đất ứớt làm sạch hoàn toàn nước thải sau xử lý sinh học hướng đến tái sử dụng nước

2. Đề tài thuộc diện: Có ký kết thỏa thuận sở hữu trí tuệ đối với kết quả thực hiện

3. Các số liệu và dữ liệu ban đầu:

- Tài liệu, số liệu liên quan về nước thải chế biến thủy sản và công nghệ xử lý
- Giáo trình, sách tham khảo và các tiêu chuẩn liên quan về công nghệ xử lý nước thải công nghiệp bằng phương pháp sinh học trong điều kiện tự nhiên và nhân tạo.

4. Nội dung các phần thuyết minh và tính toán:

Nhiệm vụ 1. Các quá trình công nghệ xử lý chất hữu cơ và chất dinh dưỡng bằng phương pháp sinh học

1.1. Nước thải công nghiệp và các phương pháp xử lý

- + Nước thải công nghiệp
- + Các phương pháp xử lý: cơ học, sinh học và hóa học

1.2. Các quá trình và công trình xử lý nước thải công nghiệp bằng phương pháp sinh học

- + Quá trình sinh hóa kỵ khí và các công trình
- + Quá trình sinh hóa hiếu khí và các công trình

1.3. Công trình đất ứớt

- + Nguyên lý của quá trình làm sạch
- + Phân loại công trình đất ứớt và phạm vi áp dụng

Nhiệm vụ 2: Nghiên cứu thực nghiệm quá trình chuyển hoá chất hữu cơ và nitrat hoá

2.1. Mục đích

2.2. Đối tượng, nội dung và phương pháp

- + Đối tượng
- + Nội dung
- + Phương pháp

2.3. Kết quả và thảo luận

- + Quá trình chuyển hóa chất hữu cơ
- + Quá trình nitrat hóa

Nhiệm vụ 3: Nghiên cứu thực nghiệm quá trình làm sạch hoàn toàn nước thải sau xử lý sinh học

3.1. Mục đích

3.2. Đối tượng, nội dung và phương pháp

- + Đối tượng
- + Nội dung
- + Phương pháp

3.3. Kết quả và thảo luận

- + Quá trình làm sạch hoàn toàn nước thải sau xử lý sinh học
- + Đề xuất tái sử dụng nước

Hình thức

- Thuyết minh đóng bìa cứng, khổ giấy A4, khoảng 50 - 80 trang.
- Phụ lục, tài liệu tham khảo, các hình ảnh và bản vẽ khổ A3 có liên quan.

5. Các bản vẽ, đồ thị (ghi rõ các loại và kích thước bản vẽ):

- Bản vẽ kỹ thuật: 02 - 04 khổ A1
- Bảng biểu và sơ đồ: 05 - 07 khổ A1

6. Họ tên người hướng dẫn: PGS. TS. Trần Văn Quang
TS. Trần Hà Quân

7. Ngày giao nhiệm vụ đồ án: 24/02/2025

8. Ngày hoàn thành đồ án: 06/06/2025

Đà Nẵng, ngày 24 tháng 02 năm 2025

Trưởng Bộ môn Quản lý môi trường

Người hướng dẫn

PGS. TS. Lê Phước Cường

PGS. TS. Trần Văn Quang

LỜI NÓI ĐẦU

Trong suốt 5 năm học tập trên giảng đường, em được tiếp thu các kiến thức và những kinh nghiệm quý báu từ các thầy cô giảng viên trong Khoa Môi trường - Trường Đại học Bách khoa Đà Nẵng. Tất cả những kiến thức này đã giúp ích cho em rất nhiều trong thời gian thực hiện các nhiệm vụ trong đề án tốt nghiệp cũng như các học phần thực hành, thực tập và xa hơn là có thể vận dụng các kiến thức đó vào được trong công việc thực tiễn trong tương lai.

Đề án tốt nghiệp là nội dung rất quan trọng, giúp tổng hợp lại kiến thức đã học, chi tiết hóa những vấn đề chưa được làm rõ trong nội dung đề án môn học và áp dụng vào giải quyết vấn đề thực tế mà bản thân em được nắm bắt trong quá trình thực hiện đề án.

Em xin chân thành cảm ơn quý thầy cô trong Khoa Môi trường đã giúp đỡ và tạo điều kiện thuận lợi nhất trong quá trình thực hiện đề án; đặc biệt là PGS.TS. Trần Văn Quang và TS. Trần Hà Quân đã nhiệt tình hướng dẫn và có nhiều ý kiến giúp em đi đúng hướng giải quyết các vấn đề được đặt ra trong nội dung đề án và cho em cơ hội cải thiện các khả năng tư duy, trình bày ý tưởng cũng như học tập các kỹ năng cần có của một người kỹ sư.

Cuối cùng, trong quá trình thực hiện đề án, mặc dù đã được quý thầy cô giảng giải tận tình, tham khảo các tài liệu có liên quan nhưng khả năng tư duy, nắm bắt vấn đề trọng tâm còn bị hạn chế nên khi triển khai một đề án liên quan đến vấn đề thực tế sẽ không tránh khỏi thiếu sót rất mong quý thầy cô góp ý để đề án tốt nghiệp của em được hoàn thiện hơn.

Em xin chân thành cảm ơn !

CAM ĐOAN

Em xin đảm bảo toàn bộ sản phẩm trình bày trong đề án là do em thực hiện dưới sự hướng dẫn từ PGS. TS. Trần Văn Quang. Nội dung trong đề án được làm mới, là công trình nghiên cứu riêng của em, các số liệu kết quả trong đề tài đều trung thực. Trong quá trình có tham khảo các tài liệu hướng dẫn từ các sách của nhiều tác giả khác nhau đều được trích dẫn, chú thích nguồn gốc trong phần tài liệu tham khảo.

Nếu có phát hiện thấy bất kỳ sự gian lận nào em xin hoàn toàn chịu trách nhiệm về đề án của mình.

Đà Nẵng, ngày tháng năm 2025

Sinh viên thực hiện

Trần Hưng Quốc Duy

MỤC LỤC

TÓM TẮT ĐỒ ÁN.....	i
LỜI NÓI ĐẦU.....	ii
CAM ĐOAN.....	iii
DANH MỤC HÌNH	vi
DANH MỤC BẢNG	vii
MỞ ĐẦU.....	1
NHIỆM VỤ 1. CÁC QUÁ TRÌNH CÔNG NGHỆ XỬ LÝ CHẤT HỮU CƠ VÀ CHẤT DINH DƯỠNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP SINH HỌC.....	2
1.1. Nước thải công nghiệp và các phương pháp xử lý	2
1.1.1. <i>Nước thải công nghiệp.....</i>	<i>2</i>
1.1.2. <i>Phương pháp xử lý.....</i>	<i>4</i>
1.2. Các quá trình và công trình xử lý nước thải công nghiệp bằng phương pháp sinh học	10
1.2.1. <i>Quá trình xử lý kỵ khí</i>	<i>10</i>
1.2.2. <i>Quá trình xử lý hiếu khí và thiếu khí</i>	<i>13</i>
1.3. Công trình đất ướt	17
1.3.1. <i>Nguyên lý của quá trình làm sạch</i>	<i>18</i>
1.3.2. <i>Phân loại công trình đất ướt và phạm vi áp dụng</i>	<i>20</i>
NHIỆM VỤ 2. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM QUÁ TRÌNH CHUYỂN HÓA CHẤT HỮU CƠ VÀ NITRAT HÓA.....	26
2.1 Mục đích	26
2.2. Đối tượng, nội dung, phương pháp.....	26
2.2.1. <i>Đối tượng nghiên cứu</i>	<i>26</i>
2.2.2. <i>Nội dung nghiên cứu.....</i>	<i>26</i>
2.2.3. <i>Phương pháp</i>	<i>31</i>
2.3. Kết quả và thảo luận	33
2.3.1. <i>Đặc điểm nước thải sau kỵ khí</i>	<i>33</i>
2.3.2. <i>Kết quả điều kiện môi trường</i>	<i>35</i>
2.3.3. <i>Quá trình chuyển hóa chất hữu cơ</i>	<i>38</i>
2.3.4. <i>Quá trình Nitrat hóa</i>	<i>43</i>
2.3.5. <i>Kết luận</i>	<i>47</i>
NHIỆM VỤ 3: NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM QUÁ TRÌNH LÀM SẠCH HOÀN TOÀN NƯỚC THẢI SAU XỬ LÝ SINH HỌC.....	49
3.1. Mục đích	49

3.2. Đối tượng, nội dung, phương pháp	49
3.2.1. <i>Đối tượng nghiên cứu</i>	49
3.2.2. <i>Nội dung</i>	49
3.2.3. <i>Phương pháp</i>	51
3.3. Kết quả và thảo luận	53
3.3.1. <i>Điều kiện môi trường</i>	53
3.3.2. <i>Kết quả nước sau xử lý của mô hình đất ướt</i>	54
3.3.3. <i>Kết luận</i>	59
3.3.4. <i>Đề xuất tái sử dụng nước</i>	60
KẾT LUẬN	63
TÀI LIỆU THAM KHẢO	64
PHỤ LỤC	

DANH SÁCH CÁC KÝ HIỆU CHỮ VIẾT TẮT

QCVN	Quy chuẩn Việt Nam
TCVN	Tiêu chuẩn Việt Nam
COD	Nhu cầu oxy hoá học
CBCNV	Cán bộ công nhân viên
DO	Oxy hòa tan
MLSS	Hỗn hợp chất rắn lơ lửng
MLVSS	Nồng độ chất rắn dễ bay hơi
MBR	Bể lọc sinh học(Membrane Bio-Reacto)
CW	Hệ thống đất ngập nước nhân tạo (Constructed Wetland)
UASB	Bể sinh học kỵ khí (Upflow anaerobic sludge blanket)

DANH MỤC HÌNH

Hình 1. 1. Sơ đồ biểu thị quá trình Nitrat hóa	8
Hình 1. 2. Quá trình phân hủy kỵ khí.....	11
Hình 1. 3. Chuyển đổi sinh học trong hệ thống kỵ khí.....	12
Hình 1. 4. Sơ đồ hệ thống SBR	15
Hình 1. 5. Hình ảnh mô phỏng hệ thống dòng chảy ngang	21
Hình 1. 6. Lớp vật liệu và đường nước chảy trong hệ thống dòng chảy ngang	22
Hình 1. 7. Hình ảnh mô phỏng hệ thống dòng chảy đứng	22
Hình 1. 8. Lớp vật liệu và đường nước chảy trong hệ thống dòng chảy đứng.....	23
Hình 1. 9. Những loài thực vật phổ biến tại công trình đất ngập nước	24
Hình 2. 1. Hình ảnh mô hình thực nghiệm 1 trên bản vẽ	26
Hình 2. 2. Hình ảnh thực tế mô hình thực nghiệm	27
Hình 2. 3. Sơ đồ công nghệ hệ thống xử lý nước thải tập trung của nhà máy	28
Hình 2. 4. Lấy mẫu nước thải tại ống xả của bể UASB	29
Hình 2. 5. Quá trình vớt mỡ sau khi cấp	32
Hình 2. 6. Lấy nước đầu ra tại mô hình.....	32
Hình 2. 7. Phân tích các thông số	32
Hình 2. 8. Lượng nước thải cấp vào môi thùng.....	34
Hình 2. 9. pH của mẫu nước đầu ra ở 2 thùng.....	37
Hình 2. 10..Chỉ số bùn SVI30 của 2 thùng.....	38
Hình 2. 11..Bùn lắng của 2 thùng.....	38
Hình 2. 12..Độ kiềm bắt đầu và kết thúc của thùng 1	38
Hình 2. 13.Độ kiềm bắt đầu và kết thúc của thùng 2	39
Hình 2. 14. Nồng độ COD bắt đầu và kết thúc của thùng 1.....	39
Hình 2. 15. Nồng độ COD bắt đầu và kết thúc của thùng 2.....	40
Hình 2. 16. Nồng độ TSS bắt đầu và kết thúc của thùng 1	40
Hình 2. 17. Nồng độ TSS bắt đầu và kết thúc của thùng 2	41
Hình 2. 18. HIệu suất xử lý COD của thùng 1	41
Hình 2. 19. HIệu suất xử lý COD của thùng 2.	42
Hình 2. 20.HIệu suất xử lý TSS của thùng 1.....	42
Hình 2. 21. HIệu suất xử lý TSS của thùng 1.....	43
Hình 2. 22. Nồng độ N-NH ₄ ⁺ bắt đầu và kết thúc của thùng 1	43
Hình 2. 23. Nồng độ N-NH ₄ ⁺ bắt đầu và kết thúc của thùng 2	44

Hình 2. 24. HIệu suất xử lý N-NH ₄ ⁺ của thùng 1	44
Hình 2. 25. HIệu suất xử lý N-NH ₄ ⁺ của thùng 2.....	45
Hình 2. 26. Lượng kiềm tiêu thụ của thùng 1.....	46
Hình 2. 27. Lượng kiềm tiêu thụ của thùng 2.....	46
Hình 2. 28. Nồng độ N-NO ₃ ⁻ bắt đầu và kết thúc của thùng 1	46
Hình 2. 29. Nồng độ N-NO ₃ ⁻ bắt đầu và kết thúc của thùng 2	47
Hình 2. 30.Nước đầu ra của mô hình thực nghiệm 1	48
Hình 3. 1.Mô hình thực nghiệm 2 trên bản vẽ.....	50
Hình 3. 2.Thực tế của mô hình thực nghiệm 2	51
Hình 3. 3.Thời gian lưu nước trong mô hình của 2 mẻ	53
Hình 3. 4.Độ pH đầu ra của mô hình đất ướt	53
Hình 3. 5.Điều kiện thực tế tại mô hình	54
Hình 3. 6.Độ kiềm đầu vào và đầu ra của mô hình đất ướt.....	55
Hình 3. 7.Nồng độ TSS đầu vào và đầu ra mô hình đất ướt	55
Hình 3. 8.Hiệu suất xử lý TSS.....	56
Hình 3. 9.Nồng độ COD đầu vào và đầu ra mô hình đất ướt.....	56
Hình 3. 10.Hiệu suất xử lý COD	57
Hình 3. 11.Nồng độ N-NH ₄ ⁺ đầu vào và đầu ra mô hình đất ướt.....	57
Hình 3. 12.Hiệu suất xử lý N-NH ₄ ⁺	58
Hình 3. 13.Nồng độ N-NO ₃ ⁻ đầu vào và đầu ra mô hình đất ướt	58
Hình 3. 14.Hiệu suất xử lý N-NO ₃ ⁻	59
Hình 3. 15.Hình ảnh thực tế nước sau khi ra mô hình đất ướt	60
Hình 3. 16.Cây lúc bắt đầu vận hành mô hình	61
Hình 3. 17. Đo chiều cao của cây sau 1 tháng vận hành	61
Hình 3. 18.Minh họa về mô hình đất ướt tại Nepal 2008 [7]	61

DANH MỤC BẢNG

Bảng 1. 1.Điều kiện sinh hóa hiếu khí nitrat hóa	8
Bảng 1. 2.Uưu điểm và nhược điểm của quá trình kỵ khí.....	11
Bảng 1. 3.Các điều kiện và yêu cầu khi vận hành quá trình hiếu khí[6].....	16
Bảng 1. 4.Bảng ưu điểm và nhược điểm giữa phương pháp hiếu khí và phương pháp thiếu khí	16
Bảng 1. 5.Bảng cơ chế xử lý thành phần nước thải của đất ướt.....	19
Bảng 1. 6. Ưu và nhược điểm của các loại dòng chảy	23
Bảng 2. 1.Các phương pháp phân tích các thông số chất lượng nước thải	32
Bảng 2. 2. Các thông số các lần lấy mẫu bể kỵ khí UASB	34
Bảng 2. 3. Kết quả quan trắc điều kiện môi trường theo thời gian	35
Bảng 3. 1.Các phương pháp phân tích các thông số chất lượng nước thải	52

MỞ ĐẦU

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu và cạn kiệt nguồn nước ngọt, việc tái sử dụng nước thải sau xử lý đang trở thành giải pháp bền vững được nhiều quốc gia quan tâm. Đặc biệt, ngành chế biến thủy sản - với đặc trưng phát sinh lượng nước thải lớn chứa hàm lượng chất hữu cơ và dinh dưỡng cao - đòi hỏi các công nghệ xử lý tiên tiến để đạt chuẩn tái sử dụng. Mặc dù các phương pháp sinh học truyền thống như bùn hoạt tính hay màng lọc sinh học MBR có thể xử lý hiệu quả phần lớn các chỉ tiêu ô nhiễm, nước thải đầu ra vẫn thường chứa hàm lượng nitơ, photpho và một số vi chất khó phân hủy vượt ngưỡng cho phép. Trước thực tế đó, công trình đất ngập nước nổi lên như một giải pháp xử lý bậc ba đầy hứa hẹn nhờ khả năng loại bỏ triệt để các chất ô nhiễm còn sót lại thông qua cơ chế lọc sinh học đa tầng kết hợp giữa thực vật, vi sinh vật và giá thể tự nhiên. Nghiên cứu này tập trung đánh giá hiệu quả của hệ thống đất ngập nước nhân tạo (Constructed Wetland – CW) trong việc xử lý nước thải sau công đoạn xử lý sinh học từ ngành chế biến thủy sản. Nghiên cứu tập trung vào khả năng loại bỏ các chất ô nhiễm còn tồn dư như chất hữu cơ (COD, BOD), hợp chất nitơ (NH_4^+ , NO_3^-) nhằm nâng cao chất lượng nước đầu ra đạt tiêu chuẩn tái sử dụng cho sản xuất hoặc tưới tiêu, góp phần tiết kiệm tài nguyên nước và phát triển bền vững ngành công nghiệp thủy sản trong tương lai.

Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá hiệu quả của hệ thống đất ngập nước nhân tạo (Constructed Wetland – CW) trong việc xử lý nước thải sau công đoạn xử lý sinh học từ ngành chế biến thủy sản. Nghiên cứu tập trung vào khả năng loại bỏ các chất ô nhiễm còn tồn dư như chất hữu cơ (COD, BOD), hợp chất nitơ (NH_4^+ , NO_3^-) nhằm nâng cao chất lượng nước đầu ra đạt tiêu chuẩn tái sử dụng cho sản xuất hoặc tưới tiêu.

Đối tượng nghiên cứu: Nước thải chế biến thủy sản; Quá trình chuyển hóa chất hữu cơ và Nitrat; Quá trình làm sạch hoàn toàn của công trình đất ngập nước.

NHIỆM VỤ 1. CÁC QUÁ TRÌNH CÔNG NGHỆ XỬ LÝ CHẤT HỮU CƠ VÀ CHẤT DINH DƯỠNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP SINH HỌC

1.1. Nước thải công nghiệp và các phương pháp xử lý

1.1.1. Nước thải công nghiệp

+ Khái niệm

Nước thải công nghiệp là loại nước thải phát sinh từ các hoạt động sản xuất, chế biến, kinh doanh trong các ngành công nghiệp. Nó bao gồm nước đã qua sử dụng trong quá trình sản xuất, vệ sinh máy móc, làm mát, hoặc các hoạt động khác liên quan đến công nghiệp. Nước thải công nghiệp thường chứa nhiều chất ô nhiễm như hóa chất, kim loại nặng, dầu mỡ, chất hữu cơ, và các tạp chất khác. Một số loại nước thải có thể chứa các chất độc hại như nước thải các phân xưởng mạ, một số khác có thể nguy hiểm về mặt vệ sinh, bệnh dịch như nước thải các xí nghiệp giết mổ, nhà máy da, nhà máy chế biến thuốc phòng dịch, ...chứa nhiều loại vi khuẩn gây bệnh (vi khuẩn loét, đậu mùa,...).[1]

Theo nồng độ các chất bản có thể chia ra nước thải đậm đặc và ít đậm đặc (loãng). Phản ánh hoạt tính độ pH của nước là một chỉ tiêu quan trọng trong việc đánh giá nước thải sản xuất, nó đóng vai trò quyết định khi chọn vật liệu xây dựng các công trình thoát nước.

Theo độ ăn mòn người ta phân ra các loại nước thải sau:

- Ít ăn mòn: có tính axit pH = 6-6,5 và có tính kiềm yếu pH = 8-9;
- Ăn mòn mạnh: có tính axit mạnh pH < 6 và kiềm mạnh pH > 9.

Hệ thống thoát nước tại công nghiệp

- Hệ thống thoát nước mưa
- Hệ thống thoát nước thải
 - + Nước thải sinh hoạt
 - + Nước thải sản xuất
 - Nước bản
 - Nước quy ước làm sạch (nước không bản). Nước thải sản xuất không bản chủ yếu tạo ra khi làm nguội và trong quá trình ngưng tụ hơi nước, trạm lạnh.

+ Phân loại nước thải nông nghiệp

- Phân loại theo nguồn phát sinh

- + Nước thải sản xuất: Phát sinh từ quá trình sản xuất, chế biến, bao gồm:
 - Nước làm mát máy móc.

- Nước rửa nguyên liệu, sản phẩm.
- Nước từ quá trình phản ứng hóa học.
- + Nước thải sinh hoạt: Từ hoạt động sinh hoạt của công nhân trong nhà máy (nhà vệ sinh, nhà ăn, khu vực vệ sinh).
- + Nước thải từ các hoạt động khác: Nước mưa chảy tràn qua khu vực sản xuất, mang theo chất bẩn, dầu mỡ, hóa chất.
- **Phân loại theo thành phần và tính chất ô nhiễm**
 - + Nước thải chứa chất hữu cơ:
 - Có nguồn gốc từ ngành chế biến thực phẩm, dệt nhuộm, giấy, bột giấy.
 - Chứa các chất hữu cơ dễ phân hủy (BOD, COD cao).
 - + Nước thải chứa chất vô cơ:
 - Xuất phát từ ngành luyện kim, sản xuất hóa chất, xi mạ.
 - Chứa kim loại nặng (chì, thủy ngân, cadmium), axit, kiềm, muối vô cơ.
 - + Nước thải chứa dầu mỡ:
 - Từ ngành cơ khí, sản xuất dầu khí, nhà máy lọc dầu.
 - Chứa dầu khoáng, mỡ động thực vật.
 - + Nước thải nhiễm vi sinh vật:
 - Từ ngành chế biến thực phẩm, nông nghiệp.
 - Chứa vi khuẩn, virus, ký sinh trùng.
 - + Nước thải nhiệt:
 - Từ quá trình làm mát máy móc, nhà máy nhiệt điện.
 - Có nhiệt độ cao, ảnh hưởng đến hệ sinh thái nước.
- **Phân loại theo mức độ nguy hại**
 - + Nước thải nguy hại: Chứa các chất độc hại, khó phân hủy, ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường và sức khỏe con người.
 - + Nước thải không nguy hại: Có thể xử lý dễ dàng hơn, ít gây hại đến môi trường..
- **Phân loại theo ngành công nghiệp**
 - + Ngành dệt may, nhuộm: Nước thải chứa thuốc nhuộm, hóa chất, chất hữu cơ.
 - + Ngành chế biến thực phẩm: Nước thải giàu chất hữu cơ, dầu mỡ.
 - + Ngành luyện kim, xi mạ: Nước thải chứa kim loại nặng, axit, kiềm.
 - + Ngành sản xuất giấy và bột giấy: Nước thải chứa lignin, cellulose, hóa chất tẩy trắng.
 - + Ngành hóa chất: Nước thải chứa các hợp chất hữu cơ, vô cơ độc hại.
- **Phân loại theo khả năng xử lý**
 - + Nước thải dễ xử lý: Có thành phần đơn giản, dễ phân hủy sinh học.

+ Nước thải khó xử lý: Chứa các chất độc hại, khó phân hủy, cần công nghệ xử lý phức tạp.^[2]

Đặc thù của nước thải công nghiệp

Nước thải công nghiệp là một trong những vấn đề môi trường nghiêm trọng, đặc biệt trong bối cảnh công nghiệp hóa hiện đại hóa. Khác với nước thải sinh hoạt, nước thải công nghiệp có những đặc thù riêng biệt, phụ thuộc vào loại hình sản xuất và quy trình công nghệ của từng ngành.

Thành phần của nước thải công nghiệp thường rất phức tạp và đa dạng. Nó bao gồm các chất hữu cơ, vô cơ, kim loại nặng, hóa chất độc hại, dầu mỡ, và các chất rắn lơ lửng. Đặc biệt, nhiều ngành công nghiệp như dệt nhuộm, luyện kim, sản xuất hóa chất, hay chế biến thực phẩm thải ra nước chứa các chất độc hại, khó phân hủy, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến môi trường và sức khỏe con người.

Ngoài ra, nước thải công nghiệp thường có lưu lượng lớn và không ổn định. Lưu lượng này có thể thay đổi theo ca sản xuất hoặc mùa vụ, gây khó khăn cho việc xử lý. Nhiệt độ của nước thải cũng thường cao, đặc biệt là từ các quá trình làm mát hoặc sản xuất nhiệt điện, gây ảnh hưởng đến hệ sinh thái nước.

Độ pH của nước thải công nghiệp cũng thường biến động mạnh, từ tính axit mạnh đến tính kiềm cao. Sự biến động này gây khó khăn cho quá trình xử lý sinh học, đòi hỏi các công nghệ xử lý phức tạp hơn. Bên cạnh đó, nước thải công nghiệp thường có mùi hôi và màu sắc khó chịu do các hóa chất, thuốc nhuộm, hoặc chất hữu cơ phân hủy.

Nếu không được xử lý đúng cách, nước thải công nghiệp có thể gây ô nhiễm nguồn nước mặt và nước ngầm. Nó cũng phá hủy hệ sinh thái thủy sinh, ô nhiễm đất, và ảnh hưởng đến sức khỏe con người. Do đó, việc quản lý và xử lý nước thải công nghiệp một cách hiệu quả là yêu cầu cấp thiết để đảm bảo phát triển bền vững và bảo vệ môi trường.

1.1.2. Phương pháp xử lý

Phương pháp cơ học

Xử lý cơ học nước thải công nghiệp là bước quan trọng đầu tiên trong quy trình xử lý, giúp loại bỏ các tạp chất rắn, điều hòa lưu lượng và thành phần nước thải trước khi đưa vào các công đoạn xử lý hóa lý hoặc sinh học. Các phương pháp chính bao gồm song chắn rác và lưới lọc để giữ lại rác thô và chất rắn kích thước nhỏ; bể lắng cát để loại bỏ cát, sỏi; bể lắng dùng trọng lực tách chất rắn lơ lửng; bể điều hòa để ổn định lưu lượng và nồng độ chất ô nhiễm; cùng các bể tách dầu mỡ hoặc hệ thống tuyển nổi (DAF) để xử lý dầu và chất rắn nhẹ. Xử lý cơ học có ưu điểm chi phí thấp, dễ vận hành và giảm tải cho các công đoạn sau, nhưng hạn chế là không xử lý được chất hòa tan, do đó cần kết hợp với các phương pháp khác để đạt hiệu quả tối ưu. Tùy vào đặc thù ngành nghề (dệt may, thực phẩm, xi mạ,...) mà lựa chọn công nghệ phù hợp.

➤ **Các phương pháp xử lý cơ học phổ biến:**

- *Song chắn rác*

+ Mục đích: Giữ lại rác thô (giấy, nhựa, vỏ cây, vải...) để bảo vệ thiết bị phía sau.

+ Phân loại:

- Song chắn thô (khe rộng 25–50 mm).
- Song chắn mịn (khe 5–10 mm).



+ Xử lý rác: Rác được thu gom và đem đi chôn lấp hoặc đốt.

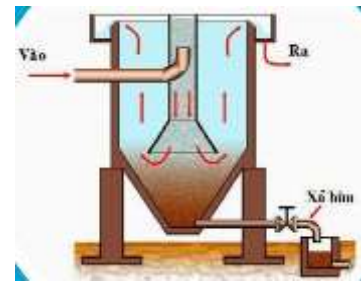
- *Bể lắng cát*

+ Mục đích: Loại bỏ cát, sỏi, mảnh vỡ kim loại (kích thước > 0.2 mm) để tránh gây mài mòn thiết bị.

+ Cơ chế: Giảm tốc độ dòng chảy để cát lắng xuống.

+ Phân loại:

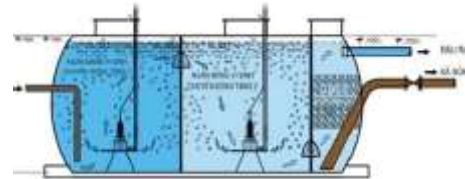
- Bể lắng cát ngang.
- Bể lắng cát aeroten (sục khí để tách chất hữu cơ).



- *Bể điều hòa*

+ Mục đích: Ổn định lưu lượng và thành phần nước thải (pH, COD, BOD...) trước khi vào các công đoạn tiếp theo.

+ Cơ chế: Khuấy trộn bằng cánh khuấy hoặc sục khí để tránh lắng cặn.



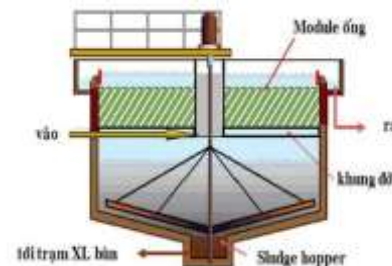
- *Bể lắng (Sedimentation Tank)*

+ Nguyên lý: Dùng trọng lực để lắng các chất rắn lơ lửng (TSS).

+ Loại bể:

- Lắng sơ cấp (Primary Sedimentation): Tách chất rắn trước khi xử lý sinh học.
- Lắng thứ cấp (Secondary Sedimentation): Tách bùn sinh học sau bể aeroten hoặc lọc sinh học.

+ Thiết kế: Bể hình tròn hoặc chữ nhật, có hệ thống gạt bùn đáy.



✚ **Phương pháp sinh học**

Xử lý sinh học nước thải công nghiệp là phương pháp sử dụng vi sinh vật để phân hủy các chất hữu cơ và một số chất vô cơ, giúp giảm BOD, COD, Nitơ và Photpho trong nước thải. Phương pháp này được chia thành ba nhóm chính: hiếu khí, kỵ khí và thiếu

khí. Trong xử lý hiếu khí, vi sinh vật sử dụng oxy để phân hủy chất hữu cơ, thường áp dụng công nghệ như bể Aerotank, màng oxy hóa, lọc sinh học hoặc màng MBR cho hiệu suất cao. Ngược lại, quá trình kỵ khí hoạt động trong môi trường không có oxy, phù hợp với nước thải có nồng độ ô nhiễm cao như ngành thực phẩm, bia rượu, thông qua các bể UASB hoặc lọc kỵ khí, đồng thời thu hồi khí biogas làm năng lượng.

Bên cạnh đó, quá trình thiếu khí được dùng để khử Nitơ trong hệ thống A²O, kết hợp với xử lý hiếu khí và kỵ khí để đạt hiệu quả toàn diện. Hiệu suất xử lý phụ thuộc vào nhiệt độ (25–35°C), pH (6.5–8.5), dinh dưỡng và tải trọng ô nhiễm.

Ưu điểm của phương pháp này là chi phí thấp, thân thiện môi trường, nhưng nhạy cảm với chất độc hại và phát sinh bùn thải cần xử lý. Tùy vào đặc tính nước thải từng ngành (thực phẩm, dệt nhuộm, giấy, chăn nuôi...), có thể lựa chọn công nghệ sinh học phù hợp hoặc kết hợp với các phương pháp khác để đạt hiệu quả tối ưu.

➤ **Phân loại phương pháp xử lý sinh học:**

- **Phương pháp kỵ khí (Anaerobic Treatment)**

+ Cơ sở lý thuyết: Công trình kỵ khí hoạt động trong điều kiện không có oxy hòa tan và không có chất nhận electron chứa oxy như nitrat hoặc nitrit. Trong môi trường này, vi sinh vật kỵ khí phân hủy các chất hữu cơ phức tạp thông qua các giai đoạn: thủy phân, axit hóa, axetic hóa và tạo khí (methanogenesis), từ đó sinh ra các khí như CH₄ (methane), CO₂, H₂S

+ Nguyên lý: Vi sinh vật hoạt động trong môi trường không có oxy, phân hủy chất hữu cơ phức tạp thành CH₄, CO₂, H₂S và sinh khối.

+ Ứng dụng: Xử lý nước thải có nồng độ COD cao (ngành thực phẩm, bia rượu, chế biến tinh bột).

+ **Phương pháp thiếu khí (Anoxic Treatment)**

+ Cơ sở lý thuyết: Công trình thiếu khí là nơi không có oxy hòa tan, nhưng có mặt các chất oxy hóa như nitrat (NO₃⁻). Trong điều kiện này, vi sinh vật thiếu khí sẽ sử dụng NO₃⁻ làm chất nhận electron để oxy hóa chất hữu cơ → tạo thành khí nitơ (N₂) thông qua quá trình khử nitrat. Đây là bước quan trọng trong loại bỏ tổng nitơ (TN).

+ Nguyên lý: Xử lý Nitơ (khử Nitrat thành N₂) trong điều kiện thiếu oxy.

+ Ứng dụng: Kết hợp với quá trình hiếu khí trong hệ thống A²O (Anaerobic-Anoxic-Oxic) để xử lý đồng thời BOD, Nitơ, Photpho.

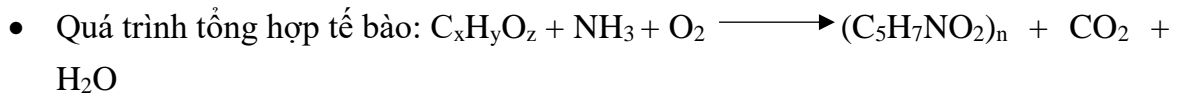
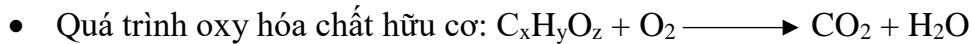
- **Phương pháp hiếu khí (Aerobic Treatment)**

+ Sử dụng khả năng sống - hoạt động của vi sinh vật để phân hủy các chất hữu cơ trong nước thải. Trong quá trình sinh trưởng, sử dụng các hợp chất hữu cơ và khoáng chất làm nguồn dinh dưỡng và tạo năng lượng. Trong quá trình dinh dưỡng, nhận được cơ chất

làm vật liệu xây dựng tế bào, sinh trưởng & sinh sản dẫn đến sinh khối tăng lên, chất hữu cơ giảm.

+ Mục đích: Các thành phần ô nhiễm dễ phân hủy sinh học (dạng hòa tan) trong nước thải được chuyển hóa thành các dạng đơn giản. Các thành phần không lắng sau đó đông tụ dưới dạng bông hay màng sinh học. Các vi sinh vật chuyển hóa các chất hữu cơ dưới dạng hòa tan hay lơ lửng thành các dạng đơn giản, được kết tụ dưới dạng bông hay màng sinh học trong sinh khối của các tế bào [4].

+ Cơ sở lý thuyết: Chất hữu cơ + O₂ $\xrightarrow{\text{Vi sinh vật}}$ CO₂ + H₂O



+ Nguyên lý: Khuếch tán, chuyển dịch và hấp thụ chất bản (chất hữu cơ) từ môi trường lên bề mặt tế bào các vi khuẩn (vi sinh vật). Oxy hoá ngoại bào và vận chuyển các chất bản hấp phụ được qua màng tế bào vi khuẩn. Chuyển hoá các chất hữu cơ thành năng lượng, tổng hợp sinh khối từ chất hữu cơ và các nguyên tố dinh dưỡng khác bên trong tế bào vi khuẩn.

+ Quá trình sinh trưởng dính bám:

Trong quá trình này, quần thể vi sinh vật hoạt động bằng cách chuyển hóa các chất hữu cơ và các thành phần ô nhiễm khác có trong nước thải. Vi sinh vật được cố định và phát triển trên các giá thể có tính chất trơ như: hạt nhựa, sỏi, sành, xi măng,... Giá thể có thể có dạng tấm hoặc hạt, giúp vi sinh vật bám dính và xử lý nước thải hiệu quả hơn.

+ Quá trình sinh trưởng lơ lửng:

Đây là quá trình mà các vi sinh vật phát triển và tăng sinh trong trạng thái lơ lửng trực tiếp trong nước thải. Chúng tạo thành các bông bùn hoạt tính – là thành phần chính trong các hệ thống xử lý sinh học như bể Aeroten. Các vi sinh vật trong quá trình này không cần giá thể mà được duy trì bằng cách khuấy trộn hoặc sục khí liên tục.

+ Công nghệ phổ biến:

- Bể Aerotank (Bùn hoạt tính): Nước thải được sục khí liên tục, vi sinh vật phát triển tạo bông bùn lắng xuống.
- Mương oxy hóa (Oxidation Ditch): Hệ thống tuần hoàn kết hợp sục khí, phù hợp với nước thải có tải trọng ô nhiễm cao.

- Lọc sinh học (Biofilter): Sử dụng vật liệu đệm (sỏi, nhựa) để vi sinh vật bám dính và phân hủy chất hữu cơ.
- MBR (Membrane Bio-Reactor): Kết hợp bùn hoạt tính và màng lọc, cho hiệu suất xử lý cao, nước đầu ra đạt chuẩn xả thải.

- **Quá trình nitrat hóa trong điều kiện hiếu khí**

Bảng 1. 1. Điều kiện sinh hóa hiếu khí nitrat hóa

No	Quá trình	Điều kiện
1	Sinh hóa hiếu khí	100 / 5 / 1 C/N/P
		12.2 mg N/100 mg TSS
2	Nitrat hóa	4,57 mg O ₂ cho 1 mg Nito
		7,14 mg kiềm oxy hóa 1 mg N-NH ₄

Quá trình nitrat hóa trong điều kiện hiếu khí là quá trình sinh học gồm hai bước, trong đó vi khuẩn Nitrosomonas oxy hóa amoni (NH₄⁺) thành nitrit (NO₂⁻), sau đó vi khuẩn Nitrobacter tiếp tục oxy hóa NO₂⁻ thành nitrat (NO₃⁻). Quá trình này đòi hỏi nồng độ oxy hòa tan (DO) duy trì trên 4 mg/L, và hiệu suất xử lý phụ thuộc vào các yếu tố như nhiệt độ và pH, với điều kiện tối ưu thường nằm trong khoảng pH 7–8 và nhiệt độ 20–30°C. Đây là bước quan trọng trong xử lý nitơ, tạo tiền đề cho quá trình khử nitrat ở các pha tiếp theo.

Tổng phương trình nitrat hóa trong điều kiện hiếu khí:



Hình 1. 1. Sơ đồ biểu thị quá trình Nitrat hóa

Phương pháp hóa học

Phương pháp hóa học trong xử lý nước thải công nghiệp sử dụng các phản ứng hóa học để loại bỏ chất ô nhiễm mà các phương pháp cơ học và sinh học không xử lý triệt để, đặc biệt hiệu quả với kim loại nặng, chất hữu cơ khó phân hủy và các hợp chất độc hại.

Các phương pháp chính bao gồm: keo tụ-tạo bông (sử dụng phèn nhôm, phèn sắt hoặc polymer để kết dính các hạt lơ lửng), trung hòa (điều chỉnh pH bằng axit hoặc bazơ), oxy hóa-khử (dùng ozone, chlorine hoặc Fenton để phân hủy chất hữu cơ độc hại), kết tủa hóa học (chuyển kim loại nặng thành dạng không tan), hấp phụ (bằng than hoạt tính để loại bỏ màu, mùi) và trao đổi ion (sử dụng nhựa trao đổi ion để loại bỏ kim loại).

Ưu điểm của phương pháp này là hiệu quả cao, thời gian xử lý nhanh và có thể áp dụng cho nhiều loại nước thải đặc thù như xi mạ (xử lý Cr, Ni), dệt nhuộm (phân hủy thuốc nhuộm) hay thực phẩm (loại bỏ dầu mỡ). Tuy nhiên, nhược điểm là chi phí vận hành cao do sử dụng hóa chất, phát sinh bùn thải độc hại và tiềm ẩn nguy cơ ô nhiễm thứ cấp nếu không kiểm soát tốt. Do đó, phương pháp hóa học thường được kết hợp với các quy trình xử lý cơ học và sinh học để đạt hiệu quả tối ưu cả về kỹ thuật lẫn kinh tế.

➤ **Các phương pháp hóa học phổ biến:**

- *Phương pháp keo tụ*

+ Mục đích: Tăng tốc độ lắng các chất lơ lửng, phân tán nhỏ, keo, nhũ tương polime và các tạp chất khác. Giảm nồng độ chất lơ lửng, mùi, màu...

+ Biện pháp:

- Pha dung dịch hóa chất Phèn nhôm ($Al_2(SO_4)_3$), phèn sắt ($FeSO_4$, $FeCl_3$),... vào nước sạch theo nồng độ nhất định
- Không khí được tách ra khỏi dung dịch ở dạng các bọt nhỏ và kéo các chất bẩn lên mặt nước.
- Tách bọt khí cùng chất bẩn bằng biện pháp gạt.

- *Phương pháp trung hòa*

+ Mục đích: Chống xâm thực công trình, duy trì các quá trình sinh hóa (tự nhiên, nhân tạo); Tách kim loại nặng. Dạng hòa tan, chuyển sang dạng lắng.

+ Biện pháp:

- Trộn nước thải có tính axit với hóa chất có tính kiềm.
- Bằng cách cho thêm hóa chất: Đối với nước thải có tính axit cấp kiềm ($Ca(OH)_2$, $NaOH$); đối với nước thải có tính kiềm cấp axit (H_2SO_4 , HCl).
- Trung hòa nước thải có tính axit bằng cách lọc qua các lớp vật liệu trung hòa.
- Dùng khói thải lò hơi để trung hòa nước thải có tính kiềm.

- *Phương pháp oxy hóa khử*

+ Mục đích: Loại bỏ (Oxy hóa-khử) các thành phần độc hại (kim loại nặng chì, kẽm, coban, crôm;...) trong nước thải.

+ Biện pháp: Oxy hóa các hợp chất xianua đơn giản hoặc phức với đồng, kẽm bằng các chất oxy hóa : CaOCl_2 , Cl_2 trong môi trường kiềm; ozon...

- *Tuyển nổi*

Phương pháp tuyển nổi là quá trình hoá lý. Trong nước các phân tử có bề mặt kỵ nước sẽ có khả năng dính kết vào các bọt khí. Khi các bọt khí và các phân tử phân tán cùng vận động trong nước thì các phân tử đó sẽ tập trung trên bề mặt các bọt khí và nổi lên. Những phần tử nào không có khả năng dính kết vào bọt khí thì sẽ còn lại trong nước. Tiếp theo người ta tách các bọt khí cùng các phần tử dính vào đó khỏi mặt nước.

Tuỳ thuộc tỷ lệ về lượng chất bẩn, mục tiêu, chất dính cần khử, trong lĩnh vực xử lý nước thải người ta phân biệt những dạng tuyển nổi sau: tuyển nổi bọt, tuyển nổi ion hoặc tuyển nổi phân tử.

Trong đó tuyển nổi với tách bọt khí từ dung dịch được sử dụng trong xử lý nước thải chế biến thủy sản. Phương pháp này được áp dụng để làm sạch nước thải chứa hạt ô nhiễm rất mịn. Bản chất của phương pháp này là tạo dung dịch quá bão hoà không khí. Khi giảm áp suất các bọt không khí sẽ tách ra khỏi dung dịch và làm nổi chất bẩn.

Tuyển nổi áp lực hiện đang được ứng dụng rộng rãi hơn các loại tuyển nổi khác vì có khả năng tạo ra các bọt khí có kích thước nhỏ (40 - 70 μm) và dễ dàng phân phối đều trong toàn bộ khối lượng nước cần xử lý.

Ưu điểm: kết cấu buồng tuyển nổi đơn giản, chi phí năng lượng thấp

Hạn chế: các lỗ xốp dễ bị bịt kín, khó chọn vật liệu có lỗ giống nhau để tạo bọt khí nhuyển và kích thước bằng nhau.

1.2. Các quá trình và công trình xử lý nước thải công nghiệp bằng phương pháp sinh học

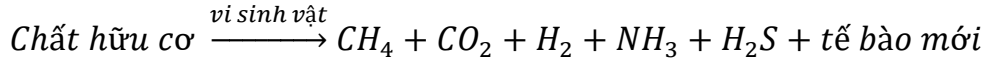
1.2.1. Quá trình xử lý kỵ khí

✚ Khái niệm

Quá trình kỵ khí là phương pháp xử lý nước thải sử dụng vi sinh vật hoạt động trong môi trường không có oxy để phân hủy các chất hữu cơ phức tạp. Trong quá trình này, các vi khuẩn kỵ khí chuyển hóa chất ô nhiễm thành các sản phẩm cuối cùng chủ yếu là khí methane (CH_4), carbon dioxide (CO_2), nước (H_2O) và một lượng nhỏ sinh khối. Công nghệ kỵ khí phụ thuộc nhiều hơn vào nhiệt độ của nước thải do hoạt động của vi sinh vật kỵ khí bị suy giảm ở nhiệt độ dưới 20°C và việc gia nhiệt cho các bể phản ứng không khả thi. Điều này là do nước thải sinh hoạt có nồng độ chất hữu cơ loãng hơn so

với nước thải công nghiệp, dẫn đến tốc độ sinh khí methane theo thể tích thấp, khiến việc sử dụng khí này làm nguồn năng lượng nhiệt trở nên không kinh tế. Hiện nay tại các khu vực có khí hậu ấm người ta sử dụng bể UASB ngày càng nhiều. [3].

Phương trình tổng quát:

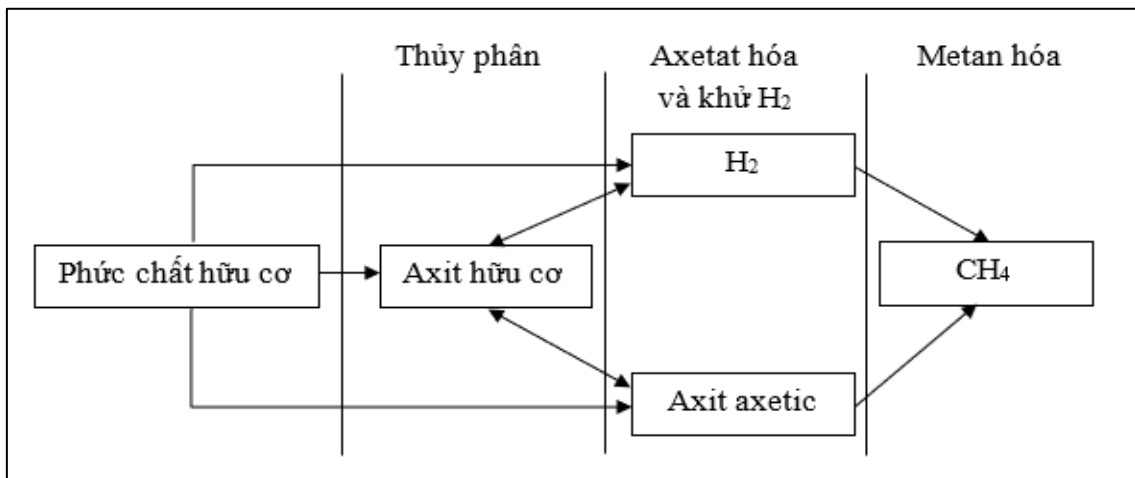


Một cách tổng quát quá trình phân huỷ kỵ khí xảy ra theo 3 giai đoạn:

Giai đoạn 1: Thủy phân, cắt mạch các hợp chất cao phân tử;

Giai đoạn 2: Axit và axetat hoá;

Giai đoạn 3: Metan hoá;



Hình 1. 2. Quá trình phân huỷ kỵ khí

Tùy theo trạng thái của bùn, có thể chia quá trình kỵ khí thành quá trình xử lý kỵ khí với vi sinh vật sinh trưởng dạng lơ lửng như quá trình tiếp xúc kỵ khí (Anaerobic Contact Process), quá trình xử lý bằng lớp bùn kỵ khí với dòng nước đi từ dưới lên (UASB) và quá trình lọc kỵ khí với vi sinh vật sinh trưởng dính bám như quá trình lọc kỵ khí (Anaerobic Filter Process).

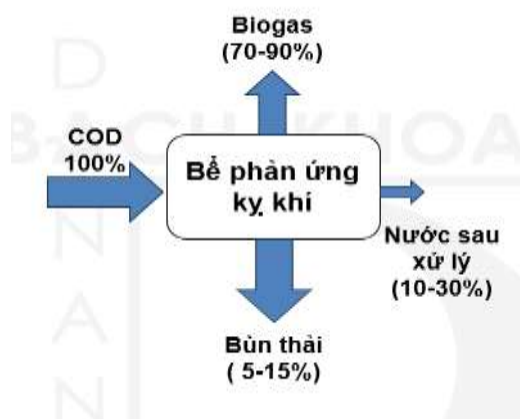
Bảng 1. 2. Ưu điểm và nhược điểm của quá trình kỵ khí

Ưu điểm	Nhược điểm
<ul style="list-style-type: none"> Sản lượng bùn thấp, chỉ bằng khoảng 1/3 đến 1/5 so với quá trình hiếu khí 	<ul style="list-style-type: none"> Vi sinh vật kỵ khí dễ bị ức chế bởi nhiều hợp chất
<ul style="list-style-type: none"> Tiêu thụ năng lượng thấp, chủ yếu liên quan đến trạm bơm nước đầu vào, dẫn đến chi phí vận hành rất thấp 	<ul style="list-style-type: none"> Quá trình khởi động có thể chậm nếu không có bùn giống thích nghi
<ul style="list-style-type: none"> Yêu cầu diện tích đất ít 	<ul style="list-style-type: none"> Thông thường cần có bước xử lý sau

Ưu điểm	Nhược điểm
<ul style="list-style-type: none"> Chi phí xây dựng thấp 	<ul style="list-style-type: none"> Quá trình sinh hóa và vi sinh của tiêu hóa kỵ khí phức tạp, vẫn cần nghiên cứu thêm
<ul style="list-style-type: none"> Sản xuất khí methane, một loại khí có giá trị nhiệt cao 	<ul style="list-style-type: none"> Có thể tạo ra mùi hôi, mặc dù có thể kiểm soát được
<ul style="list-style-type: none"> Khả năng bảo tồn sinh khối trong nhiều tháng mà không cần cấp liệu cho bể phản ứng 	<ul style="list-style-type: none"> Nước thải sau xử lý có thể có màu và mùi khó chịu
<ul style="list-style-type: none"> Chịu được tải trọng hữu cơ cao 	<ul style="list-style-type: none"> Hiệu quả loại bỏ nitơ, photpho và vi sinh vật gây bệnh không cao
<ul style="list-style-type: none"> Ứng dụng được ở cả quy mô nhỏ và lớn 	
<ul style="list-style-type: none"> Tiêu thụ dinh dưỡng thấp 	

Phương pháp kỵ khí

Trong hệ thống hiếu khí, chỉ khoảng 40-50% quá trình ổn định sinh học diễn ra, dẫn đến việc chuyển hóa thành CO₂. Một lượng lớn chất hữu cơ (khoảng 50-60%) được tích lũy dưới dạng sinh khối vi sinh, tạo thành lượng bùn dư thừa của hệ thống. Vật liệu hữu cơ, không được chuyển đổi thành carbon dioxide hoặc thành sinh khối, rời khỏi lò phản ứng dưới dạng vật liệu không phân hủy (5 đến 10%). Trong các hệ thống kỵ khí, hầu hết các chất hữu cơ có thể phân hủy sinh học có trong chất thải được chuyển hóa thành khí sinh học (khoảng 70 đến 90%), được loại bỏ khỏi pha lỏng và rời khỏi lò phản ứng ở dạng khí. Chỉ một phần nhỏ vật liệu hữu cơ được chuyển đổi thành sinh khối vi sinh vật (khoảng 5 đến 15%), sau đó tạo thành bùn dư thừa của hệ thống. Bên cạnh số lượng nhỏ được sản xuất, bùn dư thừa thường tập trung hơn, với đặc tính khử nước tốt hơn. Vật liệu không được chuyển đổi thành khí sinh học hoặc thành sinh khối để lại lò phản ứng dưới dạng vật liệu không phân hủy (10 đến 30%).



Hình 1. 3. Chuyển đổi sinh học trong hệ thống kỵ khí

- **Công nghệ phổ biến:**

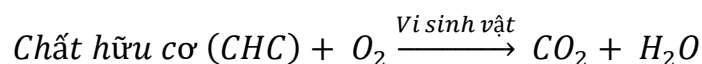
- Bể UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket): Nước thải đi từ dưới lên, qua lớp bùn kỵ khí tạo khí biogas.
- Bể EGSB (Expanded Granular Sludge Bed): Cải tiến từ UASB, tốc độ dòng chảy cao hơn.
- Bể kỵ khí đệm sinh học (Anaerobic Filter): Sử dụng giá thể để vi sinh vật bám dính.
- EGSB (Expanded Granular Sludge Bed) tức bể bùn hạt kỵ khí giãn nở. Đây là công nghệ xử lý sinh học kỵ khí nâng cấp từ UASB với cải tiến chủ yếu ở tốc độ dòng và thiết kế thủy lực, giúp tăng hiệu suất xử lý và giảm thời gian lưu nước.

1.2.2. Quá trình xử lý hiếu khí và thiếu khí

Việc kết hợp quá trình thiếu khí và hiếu khí trong hệ thống xử lý nước thải giúp nâng cao hiệu quả xử lý tổng hợp. Ở giai đoạn thiếu khí (anoxic), vi sinh vật sử dụng nitrat làm chất nhận electron để phân hủy chất hữu cơ, thực hiện quá trình khử nitrat, từ đó loại bỏ các hợp chất nitơ và giảm tải COD. Sau đó, ở giai đoạn hiếu khí (aerobic), phần amoni còn lại được oxy hóa thành nitrat, đồng thời các chất hữu cơ khó phân hủy tiếp tục được vi sinh vật hiếu khí xử lý. Sự kết hợp này giúp hệ thống xử lý đạt hiệu quả cao hơn trong việc loại bỏ cả chất hữu cơ lẫn các hợp chất nitơ, đảm bảo chất lượng nước đầu ra đạt tiêu chuẩn.

Thực chất quá trình phân huỷ chất bản hữu cơ bằng phương pháp hiếu khí là quá trình lên men bằng vi sinh vật trong điều kiện có oxy để cho sản phẩm là CO_2 , H_2O , NO_3^- và SO_4^{2-} . Cũng như xử lý kỵ khí, khi xử lý hiếu khí các chất bản phức tạp như Protein, Chất béo... sẽ bị thủy phân bởi các men ngoại bào cho các chất đơn giản là các Axit amin, các Axit béo, các Axit hữu cơ, các đường đơn... Các chất đơn giản này sẽ thấm qua màng tế bào và bị phân huỷ tiếp tục hoặc chuyển hoá thành các vật liệu xây dựng tế bào mới bởi quá trình hô hấp nội bào cho sản phẩm cuối cùng là CO_2 và H_2O .

Phương trình tổng quát quá trình hiếu khí:



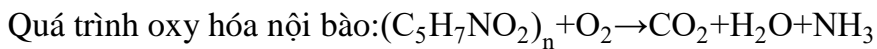
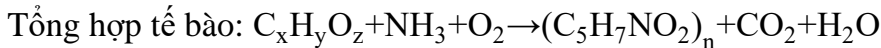
Quá trình này gồm 3 giai đoạn như sau:

Giai đoạn 1: Khuếch tán, chuyển dịch và hấp phụ chất bản từ môi trường lên bề mặt tế bào.

Giai đoạn 2: Oxy hóa ngoại bào và vận chuyển các chất bản hấp phụ được qua màng bán thấm của tế bào vi khuẩn.

Giai đoạn 3: Chuyển hóa các chất hữu cơ thành năng lượng, tổng hợp sinh khối từ chất hữu cơ và các nguyên tố dinh dưỡng khác bên trong tế bào vi khuẩn.

Quá trình chuyển hóa chất hữu cơ



Khi không đủ chất dinh dưỡng cho quá trình chuyển hóa, trong tế bào vi sinh vật bắt đầu xảy ra sự tự oxy hóa chất liệu tế bào.

Xử lý sinh học hiếu khí với vi sinh vật sinh trưởng dạng dính bám như quá trình bùn hoạt tính dính bám, bể lọc nhỏ giọt, bể lọc cao tải, đĩa sinh học,...

Xử lý sinh học hiếu khí với vi sinh vật sinh trưởng dạng lơ lửng chủ yếu được sử dụng để khử chất hữu cơ như quá trình bùn hoạt tính, hồ làm thoáng, bể phản ứng hoạt động gián đoạn. Trong số các quá trình này, quá trình bùn hoạt tính là quá trình phổ biến nhất.

- Bể bùn hoạt tính với vi sinh vật sinh trưởng lơ lửng

Trong bể bùn hoạt tính hiếu khí với vi sinh vật sinh trưởng dạng lơ lửng, quá trình chuyển hóa xảy ra khi nước thải tiếp xúc với bùn trong điều kiện sục khí liên tục. Việc sục khí nhằm đảm bảo các yêu cầu cung cấp dư lượng oxy một cách liên tục vì duy trì bùn hoạt tính ở trạng thái lơ lửng. Nồng độ oxy hoà tan trong nước khỏi bể lắng đợt 2 không được nhỏ hơn 2 mg/L. Tốc độ sử dụng oxy hoà tan trong bùn hoạt tính phụ thuộc vào:

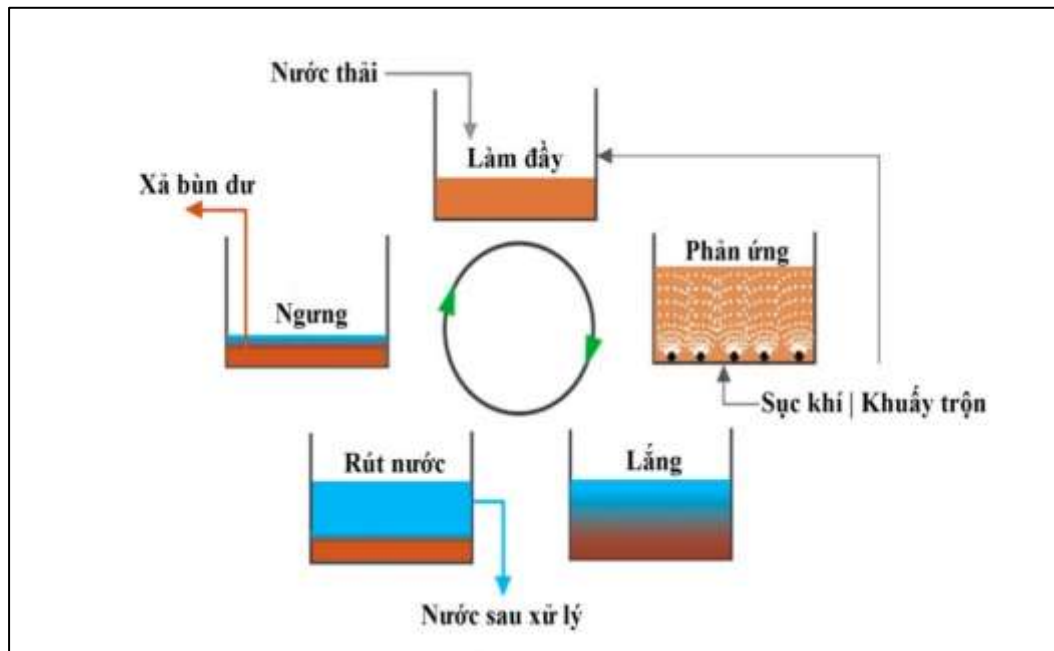
- + Tỷ lệ giữa lượng chất hữu cơ trong nước thải và lượng vi sinh vật: tỷ lệ F/M.
- + Nhiệt độ.
- + Tốc độ sinh trưởng và hoạt động phát triển của vi sinh vật.
- + Nồng độ sản phẩm độc tích tụ trong quá trình trao đổi chất.
- + Lượng các chất cấu tạo tế bào.
- + Hàm lượng oxy hoà tan.

+ Yêu cầu chung khi vận hành hệ thống bùn hoạt tính hiếu khí, nước thải đưa vào có hàm lượng chất lơ lửng SS không vượt quá 150 mg/L; pH từ 6,5 - 8,5.

- Bể hoạt động gián đoạn (Sequencing Batch Reactor - SBR)

Bể bùn hoạt tính theo mẻ (SBR) là bể xử lý nước thải với bùn hoạt tính, trong đó những công đoạn: làm đầy, phản ứng, lắng và rút nước đều được thực hiện trong cùng một công trình. Thời gian từ lúc bắt đầu thực hiện làm đầy bể đến lúc kết thúc việc xả cạn được gọi là một chu trình. Giai đoạn phản ứng diễn ra cũng tương tự như trong bể aerotank thông thường hoạt động liên tục, tức là ở cả hai bể: aerotank và SBR đều phải thực hiện quá trình làm thoáng và lắng. Nhưng có một điểm khác nhau cơ bản là: ở bể aerotank thông thường, các quá trình làm thoáng và lắng diễn ra ở hai bể riêng biệt: Bể

aerotank và bể lắng đợt 2, trong khi đó ở bể SBR các quá trình được thực hiện ngay trong cùng một bể.



Hình 1. 4. Sơ đồ hệ thống SBR

Mọi hệ hoạt động gián đoạn đều có 5 bước và được thực hiện lần lượt như sau:

- **Làm đầy:** Quá trình làm đầy thường kéo dài khoảng 25% tổng thời gian. Mục đích của giai đoạn làm đầy là dẫn nước thải thô hoặc nước thải sau tiền xử lý vào bể. Quá trình làm đầy thường cho phép mức nước trong bể tăng dần từ 25% (ở cuối giai đoạn) tới 100% dung tích. Nếu được kiểm soát bằng cách theo thời gian, quá của 1 chu trình hoàn chỉnh.
- **Phản ứng:** Mục đích của giai đoạn phản ứng là hoàn thành quá trình oxy hóa sinh hóa các chất hữu cơ trong nước thải (tương tự như ở bể Aeroten). Thông thường thời gian phản ứng chiếm khoảng 35% tổng thời gian của 1 chu trình hoàn chỉnh.
- **Lắng:** Mục đích của giai đoạn lắng là để lắng yên các chất rắn, tạo lớp nước trong phía trên cần xả đi và bùn hoạt tính lắng ở bên dưới. Tại giai đoạn này do thiếu oxy nên có khả năng khử bằng nitơ bằng quá trình khử nitrat.
- **Rút nước:** Mục đích của giai đoạn rút nước (xả cạn) nước trong đã được xử lý khỏi bể bằng thiết bị chất nước chuyên dụng (Decanter). Thời gian xả cạn thường trong khoảng 5 – 30% tổng thời gian 1 chu kỳ hoàn chỉnh (từ 15 phút đến 2 giờ) – trung bình thời gian xả cạn là 45 phút.
- **Ngưng:** Mục đích của việc ngưng làm việc ở đây là chuẩn bị trước khi cho chu trình khác đưa vào hoạt động. Ngưng không nhất thiết là giai đoạn phải thực hiện, đôi khi không cần phải có thời gian ngưng.

Các điều kiện và yêu cầu khi vận hành các quá trình hiếu khí được trình bày tại bảng 1.2

Bảng 1. 3. Các điều kiện và yêu cầu khi vận hành quá trình hiếu khí[6]

STT	Thông số	Giá trị
1	DO	≥ 2 mg/L
2	Nồng độ CHC, SS	Giới hạn (150; 500; ≤ 1000)
3	Nhiệt độ	6 – 37°C
4	pH	6,5 – 7,5
5	Chất dinh dưỡng	BOD/N/P = 100/5/1
6	Kim loại nặng, ức chế..	Giới hạn cho phép
7	Khoáng hoà tan	≤ 10 g/L

➤ **Ưu điểm và nhược điểm giữa phương pháp hiếu khí và kỵ khí**

Bảng 1. 4. Bảng ưu điểm và nhược điểm giữa phương pháp hiếu khí và phương pháp thiếu khí

	Phương pháp hiếu khí	Phương pháp kỵ khí
Ưu điểm	Hiệu quả cao với BOD, COD	Loại bỏ Nitơ hiệu quả
	Oxy hóa nhanh	Tiết kiệm năng lượng
	Tạo điều kiện cho Nitrat hóa	Phối hợp dễ dàng
Nhược điểm	Tốn chi phí cho việc sục khí	Không xử lý được BOD cao nếu thiếu carbon
	Sinh ra nhiều bùn	Cần kết hợp với hiếu khí
	Không khử được NO_3^-	

➤ **Quá trình kết hợp hiếu khí và thiếu khí để nâng cao hiệu suất xử lý :**

- **Quá trình A/O (Anoxic – Oxidic)**

Công nghệ kết hợp giữa thiếu khí và hiếu khí, còn gọi là công nghệ Anoxic – Oxidic là một quy trình xử lý sinh học gồm hai giai đoạn chính: giai đoạn thiếu khí (anoxic) và giai đoạn hiếu khí (oxidic). Trong giai đoạn thiếu khí, vi sinh vật sử dụng nitrat làm chất nhận electron để phân hủy chất hữu cơ và thực hiện quá trình khử nitrat, chuyển nitrat thành khí nitơ (N_2) thoát ra ngoài, giúp loại bỏ nitơ trong nước thải. Tiếp theo, ở giai đoạn hiếu khí, vi sinh vật hiếu khí tiếp tục phân hủy chất hữu cơ còn lại và thực hiện

quá trình khử nitrat, tức oxy hóa amoni thành nitrat để cung cấp cho giai đoạn thiếu khí trước đó. Công nghệ này có ưu điểm xử lý hiệu quả chất hữu cơ (COD/BOD) và nitơ, nhưng không xử lý tốt phospho do không có giai đoạn kỵ khí, nên thường sẽ kết hợp thêm giai đoạn kỵ khí để tăng khả năng phân hủy chất hữu cơ.

- **Quá trình MBBR kết hợp hiếu khí và thiếu khí**

MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) là hệ thống sử dụng giá thể di động để tăng diện tích bám dính cho vi sinh vật, từ đó nâng cao hiệu quả xử lý. Khi kết hợp các pha thiếu khí và hiếu khí, MBBR cho phép vi sinh vật thực hiện liên tiếp quá trình khử nitrat (trong môi trường thiếu khí) và nitrat hóa (trong môi trường hiếu khí). Sự phân bố không gian của các pha này giúp loại bỏ hiệu quả nitơ tổng, đồng thời xử lý BOD và COD. MBBR phù hợp với nước thải có tải lượng ô nhiễm cao.

1.3. Công trình đất ướt

Đất ướt hay còn gọi là đất ngập nước (wetland) hoặc bãi lọc ngầm có bề mặt hoặc lớp đất bên dưới luôn chứa nước đây là dạng bán tự nhiên sử dụng thực vật để xử lý chất hữu cơ và chất dinh dưỡng, hệ sinh thái bão hòa nước (tự nhiên hoặc nhân tạo), nơi thực vật thủy sinh và vi sinh vật phát triển, giúp xử lý nước thải nhờ các quá trình sinh học như nitrat hóa, khử nitrat và phân hủy hữu cơ. Đất ướt hiệu quả để loại bỏ nitơ, photpho, BOD và kim loại nặng, nhưng cần diện tích lớn và thời gian xử lý dài, phù hợp cho quy mô nhỏ hoặc kết hợp với công nghệ khác.

Khác với các phương pháp ở trên thì công trình đất ướt có hiệu suất thấp, vận hành dễ dàng từ đó hỗ trợ xử lý bậc 2 đối với các loại nước thải công nghiệp hướng đến tái tạo cảnh quan và tái sử dụng nguồn nước.

Công nghệ xử lý nước thải bằng hệ thống Wetland có 2 loại chính: ^[8]

- *Đất ngập nước tự nhiên (Natural Wetlands)*

Đây là hệ thống sử dụng các vùng đất ngập nước sẵn có trong tự nhiên như đầm lầy, hồ, sông ngòi để tiếp nhận và xử lý nước thải. Tuy nhiên, nguồn nước xả vào các khu vực này phải đạt tiêu chuẩn nhất định, thường là nước thải đã qua xử lý thứ cấp. Việc sử dụng đất ngập nước tự nhiên để xử lý nước thải không được khuyến khích do có thể gây hại cho hệ sinh thái bản địa, làm suy giảm đa dạng sinh học và khó kiểm soát hiệu quả xử lý. Phương pháp này chủ yếu được nghiên cứu trong các dự án phục hồi môi trường chứ không phổ biến trong xử lý nước thải quy mô lớn.

- *Đất ngập nước nhân tạo (Constructed Wetlands)*

Đây là hệ thống được con người thiết kế và xây dựng nhằm mô phỏng chức năng của đất ngập nước tự nhiên nhưng tối ưu cho mục đích xử lý nước thải. Hệ thống này có thể kiểm soát được quá trình vận hành và chất lượng nước đầu ra, đồng thời giảm thiểu tác động đến môi trường. Đất ngập nước nhân tạo được chia thành hai dạng chính: hệ thống dòng chảy trên mặt (FWS) và hệ thống dòng chảy ngầm (SSF), tùy thuộc vào đặc điểm nước thải và yêu cầu xử lý. Phương pháp này ngày càng được ưa chuộng do tính thân thiện với môi trường và hiệu quả xử lý cao.

Về vật liệu sử dụng, sỏi là vật liệu được sử dụng phổ biến nhất, nhưng các vật liệu khác như đá nghiền. Sỏi lớn thường được khuyến cáo sử dụng để ngăn ngừa tắc nghẽn, sỏi nhỏ được trải một lớp mỏng ở trên cùng của bãi lọc để rễ phát triển tốt hơn.[5]

1.3.1. Nguyên lý của quá trình làm sạch

Đất ngập nước xây dựng là một tập hợp phức tạp của nước thải, chất nền, thảm thực vật và một loạt các vi sinh vật (quan trọng nhất là vi khuẩn). Thảm thực vật đóng một vai trò quan trọng trong các vùng đất ngập nước vì chúng cung cấp bề mặt và môi trường thích hợp cho sự phát triển và lọc của vi sinh vật. Các chất ô nhiễm được loại bỏ trong các vùng đất ngập nước bằng một số quá trình vật lý, hóa học và sinh học.

Trong hệ thống đất ngập nước nhân tạo, các chất rắn có khả năng lắng và chất rắn lơ lửng chưa được xử lý triệt để ở giai đoạn tiền xử lý sẽ tiếp tục được loại bỏ hiệu quả thông qua hai cơ chế vật lý chính là lọc và lắng đọng. Cơ chế lọc diễn ra khi dòng nước thải đi qua các lớp vật liệu lọc tự nhiên gồm rễ cây, sỏi, cát và màng sinh học, đặc biệt hiệu quả tại các vị trí có sự thu hẹp dòng chảy làm tăng khả năng giữ lại các hạt rắn. Đồng thời, cơ chế lắng đọng xảy ra khi các hạt nặng chìm xuống những vùng nước tĩnh nhỏ được hình thành tự nhiên trong hệ thống, nơi tốc độ dòng chảy giảm đáng kể tạo điều kiện lý tưởng cho quá trình lắng tự nhiên. Quá trình này đặc biệt rõ rệt ở các khu vực có thảm thực vật thủy sinh dày đặc.

Hệ thống này cho hiệu suất loại bỏ SS đạt 60-85% mà không cần sử dụng hóa chất keo tụ, với chi phí vận hành thấp và đặc biệt phù hợp cho các hệ thống xử lý nước thải quy mô nhỏ và vừa. Khi thiết kế hệ thống, cần đặc biệt chú ý tính toán tải lượng thủy lực phù hợp, bố trí lớp vật liệu lọc có độ dốc tối ưu và kết hợp đa dạng các loại thực vật thủy sinh để đạt hiệu quả xử lý cao nhất.

Bảng 1. 5. Bảng cơ chế xử lý thành phần nước thải của đất ướt

Thành phần nước thải	Cơ chế xử lý
Chất rắn lơ lửng	✓ Quá trình lắng đọng. ✓ Quá trình lọc.
Chất hữu cơ hòa tan	✓ Phân giải của vi sinh vật kỵ khí. ✓ Phân giải của vi sinh vật hiếu khí.
Photpho	✓ Quá trình vô cơ hóa tích tụ trong trầm tích dưới dạng muối vô cơ. ✓ Sự hấp thụ thực vật.
Nitơ	✓ Quá trình amoniac hóa và nitrat hóa vi khuẩn. ✓ Quá trình khử nito ✓ Sự hấp thụ của thực vật. ✓ Sự hấp phụ trong trầm tích dưới dạng muối vô cơ. ✓ Bay hơi amoniac (chủ yếu trong SF).

Cơ chế xử lý các chất ô nhiễm trong đất ngập nước nhân tạo

Hệ thống đất ngập nước nhân tạo chủ yếu loại bỏ các chất ô nhiễm thông qua các quá trình sinh học (như hoạt động biến dưỡng của các vi sinh vật, quá trình hấp thụ của thực vật,...) và các quá trình hóa-lý khác (như: lắng, hấp phụ, kết tủa,...)

Đối với khả năng xử lý BOD5, các vi sinh vật bám vào rễ cây, thân cây và lá rụng xuống đất sẽ đảm nhiệm việc loại bỏ các chất hữu cơ hòa tan. Nguồn cung cấp oxy chủ yếu cho vi sinh vật là từ sự khuếch tán oxy của khí quyển vào trong đất, nước và do cây trồng vận chuyển oxy từ lá xuống bộ rễ.

Đối với khả năng loại bỏ chất rắn lơ lửng, tất cả các loại hình ngập nước nhân tạo đều có khả năng loại bỏ cực cao. Do dòng nước tĩnh và cạn nên chỉ cần một đoạn nhỏ đầu hệ thống là đủ cho việc loại bỏ chất thải rắn lơ lửng.

Các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả xử lý

Thảm thực vật đóng vai trò quan trọng khi vừa cung cấp oxy qua hệ rễ vừa hấp thụ trực tiếp amoni. Vật liệu nền như than bùn giúp tăng khả năng hấp phụ nitơ. Thời gian lưu nước (HRT) cần thiết kể tối thiểu 3-5 ngày, đồng thời tỷ lệ C/N phải đảm bảo trên 5:1 để quá trình khử nitrat diễn ra hiệu quả.

Ưu điểm nổi bật của công nghệ

Hệ thống này có nhiều ưu điểm vượt trội so với phương pháp truyền thống, đặc biệt về mặt tiết kiệm năng lượng. Ngoài xử lý nitơ, hệ thống còn có khả năng xử lý đồng thời các chất ô nhiễm khác như BOD và kim loại nặng. Công nghệ đặc biệt phù hợp với nguồn nước thải có nồng độ nitơ thấp 50mg/L.

1.3.2. Phân loại công trình đất ướt và phạm vi áp dụng

+ Phân loại công trình đất ướt

- Hệ thống dòng chảy trên bề mặt (*Free Water Surface - FWS*)

Đất ngập nước bề mặt FWS bao gồm một lưu vực nông, đất hoặc môi trường khác để hỗ trợ rễ của thảm thực vật và một cấu trúc kiểm soát nước duy trì độ sâu của nước nông. Mặt nước nằm trên chất nền. Các vùng đất ngập nước trông giống như đầm lầy tự nhiên và có thể cung cấp môi trường sống và lợi ích thẩm mỹ của động vật hoang dã cũng như xử lý nước. Ở vùng đất ngập nước, lớp bề mặt gần là hiếu khí trong khi vùng nước sâu hơn và chất nền thường kỵ khí. Đất ngập nước mưa và đất ngập nước được xây dựng để xử lý thoát nước mỏ và dòng chảy nông nghiệp thường là đất ngập nước chảy trên bề mặt. Đất ngập nước có dòng chảy trên bề mặt đôi khi được gọi là đất ngập nước bề mặt nước tự do hoặc, nếu chúng là để thoát nước mỏ, đất ngập nước hiếu khí. Ưu điểm của các vùng đất ngập nước này là vốn và chi phí vận hành thấp, xây dựng, vận hành và bảo trì rất đơn giản. Nhược điểm chính của hệ thống FWS là chúng thường yêu cầu diện tích đất lớn hơn các hệ thống khác.

Hệ thống dòng chảy trên mặt (FWS) mô phỏng các vùng đầm lầy tự nhiên, nơi nước chảy lộ thiên qua khu vực trồng thực vật thủy sinh. Trong hệ thống này, nước thải tiếp xúc trực tiếp với không khí và thực vật, tạo điều kiện cho quá trình oxy hóa và hấp thụ chất dinh dưỡng. Thực vật thường được sử dụng bao gồm lau sậy, cỏ nến và các loài cây ngập nước khác. FWS phù hợp để xử lý nước thải sinh hoạt, nông nghiệp và nước thải có hàm lượng hữu cơ cao. Ưu điểm của hệ thống này là chi phí vận hành thấp và khả năng tích hợp vào cảnh quan tự nhiên. Tuy nhiên, nhược điểm là đòi hỏi diện tích lớn và hiệu quả xử lý có thể bị ảnh hưởng bởi điều kiện thời tiết.

- Hệ thống dòng chảy ngầm (*Subsurface Flow - SSF*)

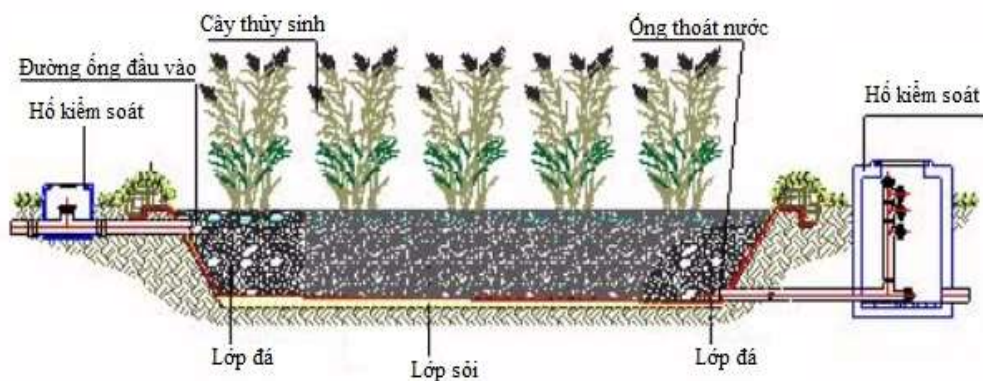
Đất ngập nước dòng chảy dưới bề mặt (SSF) bao gồm một lưu vực kín với nền xấp xỉ bằng đá hoặc sỏi bên dưới bề mặt, nơi vi sinh vật và rễ cây hoạt động để phân hủy chất ô nhiễm. Mực nước được thiết kế để duy trì dưới đỉnh của chất nền., đường dẫn dòng chảy là nằm ngang. Hệ thống SSF được gọi bằng một số tên. bao gồm lớp chìm thực vật, phương pháp vùng rễ, bộ lọc lau sậy đá vi mô và hệ thống lọc đá thực vật. Do các

hạn chế thủy lực do chất nền áp đặt, các vùng đất ngập nướcSSF phù hợp nhất với nước thải có nồng độ chất rắn tương đối thấp và trong điều kiện dòng chảy tương đối đồng đều. Các vùng đất ngập nướcSSF thường được sử dụng để giảm nhu cầu oxy sinh hóa trong 5 ngày (BOD5) từ nước thải sinh hoạt. Những lợi thế được trích dẫn cho các vùng đất ngập nướcSSF là khả năng chịu lạnh cao hơn, giảm thiểu các vấn đề về sâu bệnh và mùi.

Theo nghiên cứu rằng môi trường xốp cung cấp diện tích bề mặt lớn hơn để tiếp xúc với xử lý, do đó phản ứng xử lý sẽ nhanh hơn đối với các vùng đất ngập nướcSSF. Vì mặt nước không bị lộ nên các vấn đề về tiếp cận công cộng là tối thiểu. Nhược điểm của các vùng đất ngập nướcSSF là chúng tốn kém hơn để xây dựng, trên cơ sở đơn vị. Do chi phí, các vùng đất ngập nướcSSF thường được sử dụng cho các dòng chảy nhỏ. Đất ngập nướcSSF có thể khó điều chỉnh hơn so với đất ngập nước trên bề mặt, và chi phí bảo trì và sửa chữa thường cao hơn so với đất ngập nước trên bề mặt. Ưu điểm củaSSF là hiệu quả xử lý cao, ít bốc mùi và tiết kiệm diện tích hơn so vớiFWS. Tuy nhiên, chi phí đầu tư ban đầu có thể cao hơn do yêu cầu vật liệu lọc và hệ thống phân phối nước phức tạp.SSF được chia thành hai loại chính:^[7]

+ Dòng chảy theo phương ngang (Horizontal flow – HF)

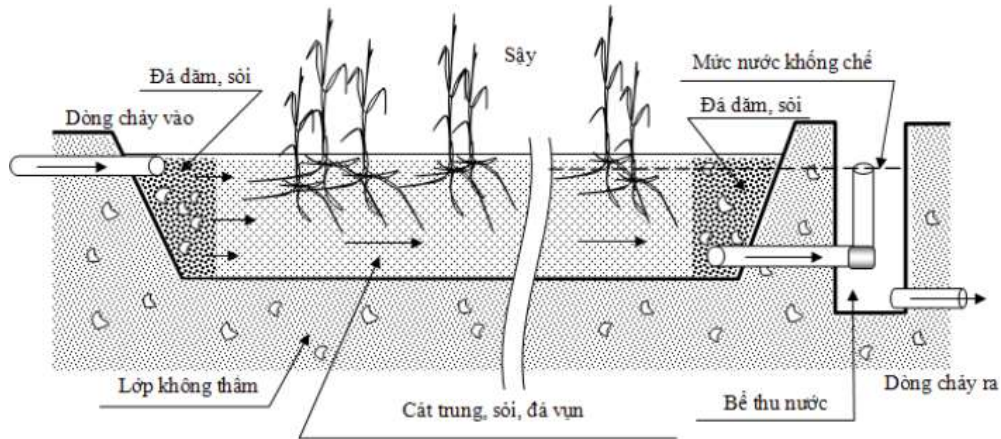
Dạng dòng chảy ngang được thiết kế cho nước thải đầu vào chảy theo phương ngang để đi đến ống gom nước thải đầu ra.



Hình 1. 5. Hình ảnh mô phỏng hệ thống dòng chảy ngang

Vùng đất ngập nướcHF nước thải được đưa vào ở đầu vào và chảy từ từ qua chất nền dăm, đá sỏi dưới bề mặt theo đường ngang ít nhiều cho đến khi nó đến vùng đầu ra. Trong quá trình này, nước thải sẽ tiếp xúc với một mạng lưới các vùng hiếu khí, thiếu oxy và kỵ khí. Các vùng hiếu khí sẽ nằm xung quanh rễ và thân rễ của thảm thực vật đất ngập nước rò rỉ oxy vào giá thể. Trong quá trình nước thải đi qua thân rễ, nước thải được

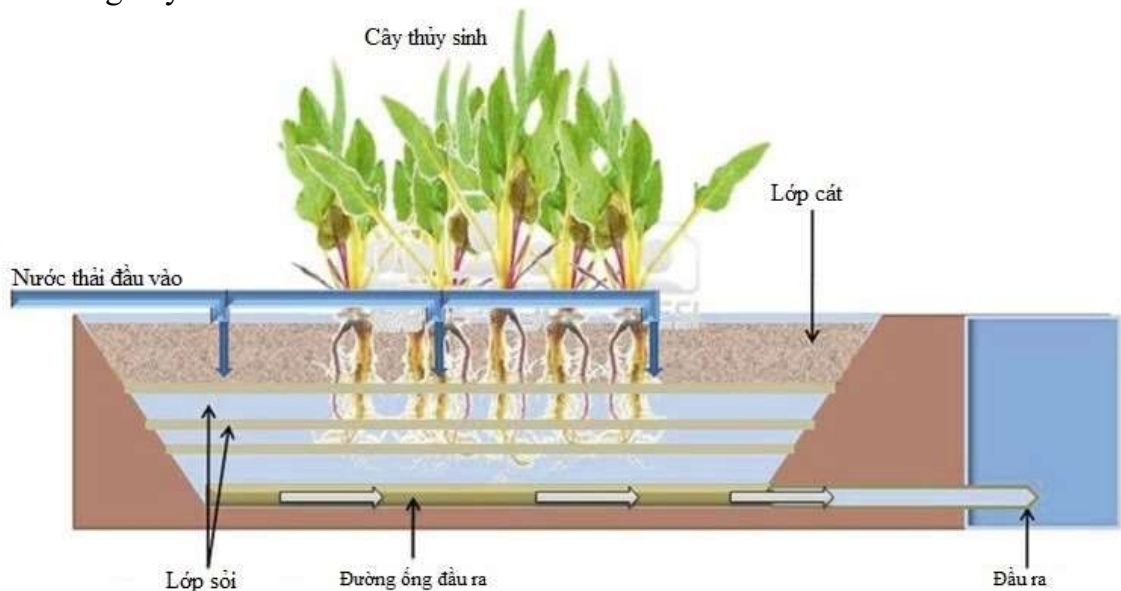
làm sạch bằng vi sinh vật. Đất ngập nước HF có thể loại bỏ hiệu quả các chất ô nhiễm hữu cơ (TSS, BOD5 và COD) khỏi nước thải. Do sự truyền oxy hạn chế bên trong đất ngập nước, việc loại bỏ các chất dinh dưỡng (đặc biệt là nitơ) bị hạn chế, tuy nhiên, các vùng đất ngập nước HF loại bỏ nitrat trong nước thải.



Hình 1. 6. Lớp vật liệu và đường nước chảy trong hệ thống dòng chảy ngang

+ Dòng chảy theo phương đứng (Vertical flow - VF)

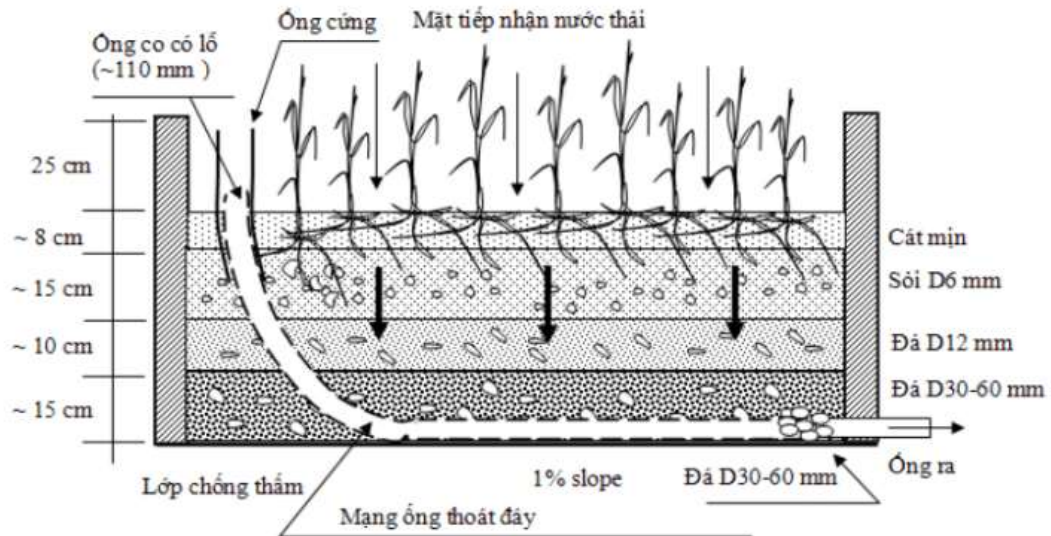
Nước thải được phân phối từ trên xuống phương thẳng đứng , qua lớp vật liệu lọc, giúp tăng cường oxy hóa và hiệu quả xử lý amoni. Dạng dòng chảy đứng có thể chia ra thành các loại nhỏ như: dòng chảy đứng có trồng cây hay không có trồng cây, dòng chảy từ trên xuống hay từ dưới lên.



Hình 1. 7. Hình ảnh mô phỏng hệ thống dòng chảy đứng

Dòng chảy phương đứng thường được sử dụng để xử lý nước thải có hàm lượng nitơ cao. Các vùng đất ngập nước được cung cấp không liên tục trong một mẻ lớn trên bề mặt. Chất lỏng này dần dần thoát xuống qua lớp cát, sỏi và được thu gom bởi một mạng

lưới thoát nước ở gốc. Đường thoát nước hoàn toàn tự do và nó cho phép không khí tái tạo. Liều chất lỏng tiếp theo giữ lại không khí này và điều này cùng với sự khuếch tán oxy do định lượng nhanh lên dẫn đến truyền oxy tốt và do đó có khả năng nitrat hóa



Hình 1. 8. Lớp vật liệu và đường nước chảy trong hệ thống dòng chảy đứng

➤ Ưu và nhược điểm của các loại hình

Bảng 1. 6. Ưu và nhược điểm của các loại dòng chảy

	Ưu điểm	Nhược điểm
Chảy mặt	<ul style="list-style-type: none"> - Chi phí xây dựng, vận hành và quản lý thấp. - Tối thiểu hóa thiết bị cơ khí, năng lượng và kỹ năng quản lý. - Ổn định nhiệt độ và độ ẩm cho khu vực. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cần một diện tích lớn. - Loại bỏ nitrogen, phospho kém. - Gây mùi hôi do sự phân hủy các chất hữu cơ. - Kiểm soát muỗi, côn trùng và các mầm bệnh khác. - Rủi ro cho trẻ em và gia súc.
Chảy ngầm	<ul style="list-style-type: none"> - Loại bỏ hiệu quả nhu cầu oxy hóa sinh (BOD), nhu cầu oxy hóa học (COD), tổng chất rắn lơ lửng (TSS), kim loại nặng. - Ít tốn diện tích hơn. - Giảm thiểu mùi hôi và vi khuẩn. - Tối thiểu hóa thiết bị cơ khí, năng lượng và kỹ năng quản lý. - Vận hành quanh năm trong điều kiện nhiệt đới. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tốn thêm chi phí cho vật liệu cát, sỏi. - Tốc độ xử lý có thể chậm. - Nước thải có TSS cao có thể gây tình trạng ngập úng.

✚ Phạm vi áp dụng công trình đất ngập nước

Hệ thống đất ngập nước nhân tạo đã trở thành giải pháp xử lý môi trường được ứng dụng rộng rãi nhờ hiệu quả xử lý cao, chi phí vận hành thấp và tính thân thiện với môi trường. Công nghệ này được sử dụng đa dạng trong nhiều lĩnh vực từ xử lý nước thải sinh hoạt, công nghiệp đến phục hồi hệ sinh thái. Đối với nước thải sinh hoạt và công nghiệp, hệ thống này đặc biệt hiệu quả trong việc xử lý các chất hữu cơ (BOD, COD) nhờ hoạt động của vi sinh vật bám trên rễ cây và quá trình hấp thụ của thực vật thủy sinh như lau sậy, bèo tây. Các chất dinh dưỡng như nitơ, photpho cũng được loại bỏ hiệu quả thông qua quá trình hấp thụ của thực vật và chuyển hóa sinh học, khiến hệ thống này trở thành lựa chọn lý tưởng cho các khu vực nông thôn, vùng sâu vùng xa thiếu hệ thống xử lý tập trung.

Trong lĩnh vực nông nghiệp và chăn nuôi, đất ngập nước nhân tạo chứng minh hiệu quả rõ rệt trong xử lý nước thải chăn nuôi chứa hàm lượng cao amoni, nitrat và photpho, cũng như nước rửa trôi thuốc bảo vệ thực vật. Đối với ngành nuôi trồng thủy sản, hệ thống này đóng vai trò như bể lọc sinh học tự nhiên, giúp ổn định chất lượng nước, giảm tải độc và các hợp chất hữu cơ dư thừa, từ đó nâng cao năng suất và giảm thiểu dịch bệnh cho thủy sản. Một ứng dụng quan trọng khác là xử lý nước thải công nghiệp chứa kim loại nặng từ các ngành khai khoáng, luyện kim. Thông qua cơ chế lắng đọng, hấp phụ và hấp thụ của thực vật đặc biệt như cỏ Vetiver, bèo Nhật Bản, chuối hoa, hệ thống có khả năng loại bỏ hiệu quả các kim loại độc hại như chì, asen, thủy ngân.



Hình 1. 9. Những loài thực vật phổ biến tại công trình đất ngập nước

Trong đô thị hóa, đất ngập nước nhân tạo được ứng dụng như giải pháp xử lý nước mưa chảy tràn, vốn thường mang theo dầu mỡ, chất rắn lơ lửng và các chất ô nhiễm khác. Các hệ thống này thường được thiết kế dưới dạng hồ sinh học hoặc bãi lọc trồng cây, đóng vai trò như bộ lọc tự nhiên trước khi nước thấm vào mạch nước ngầm hoặc đổ ra sông hồ. Về mặt sinh thái, công nghệ này có ý nghĩa quan trọng trong việc phục

hồi các vùng đất ngập nước tự nhiên bị suy thoái, không chỉ cải thiện chất lượng nước mà còn tạo môi trường sống cho các loài thủy sinh, chim di cư và động vật hoang dã, góp phần bảo tồn đa dạng sinh học

Mặc dù có nhiều ưu điểm vượt trội như chi phí vận hành thấp, không sử dụng hóa chất, thân thiện với môi trường và có thể áp dụng từ quy mô hộ gia đình đến khu công nghiệp, hệ thống đất ngập nước nhân tạo vẫn tồn tại một số hạn chế. Hệ thống đòi hỏi diện tích lớn, hiệu quả xử lý phụ thuộc nhiều vào thời gian lưu nước và loại thực vật được sử dụng. Ngoài ra, hệ thống có thể bị ảnh hưởng bởi điều kiện thời tiết cực đoan như lũ lụt hay hạn hán, và hiệu suất xử lý một số chất ô nhiễm đặc biệt như vi sinh vật gây bệnh có thể không cao bằng các công nghệ hiện đại. Tuy nhiên, với những lợi ích to lớn về mặt kinh tế, môi trường và xã hội, đất ngập nước nhân tạo vẫn đang được xem là giải pháp bền vững và ngày càng được ứng dụng rộng rãi trên toàn thế giới trong công tác bảo vệ môi trường và phát triển bền vững.

NHIỆM VỤ 2. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM QUÁ TRÌNH CHUYỂN HÓA CHẤT HỮU CƠ VÀ NITRAT HÓA

2.1 Mục đích

Có được các thông số quá trình sinh hóa hiếu khí xử lý chất hữu cơ và nitrat hóa trong nước thải từ nhà máy chế biến thủy sản và đánh giá được hiệu suất xử lý nước thải trên mô hình thực nghiệm.

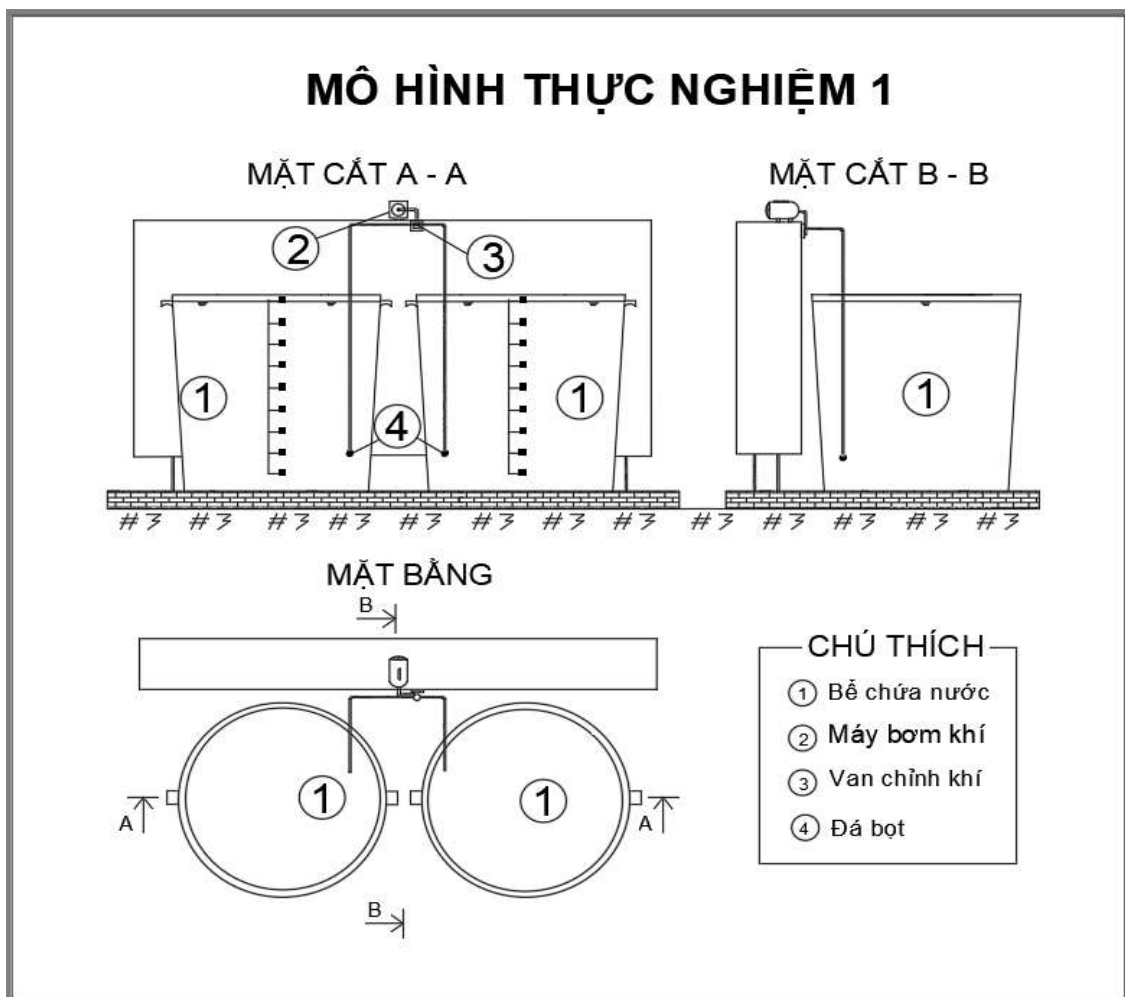
2.2. Đối tượng, nội dung, phương pháp

2.2.1. Đối tượng nghiên cứu

- Nước thải sau quá trình xử lý kỵ khí (UASB) từ nhà máy chế biến thủy sản.
- Các thông số của quá trình xử lý sinh học trên mô hình thực nghiệm

2.2.2. Nội dung nghiên cứu

2.2.2.1. Thiết lập mô hình thực nghiệm xử lý sinh học SBR



Hình 2. 1. Hình ảnh mô hình thực nghiệm 1 trên bản vẽ

✚ Chuẩn bị, hiệu chỉnh mô hình thực nghiệm

Chuẩn bị và hiệu chỉnh mô hình thực nghiệm tại phòng thí nghiệm gồm:

- Thùng chứa có dung tích 50L
- Hệ thống cấp khí gồm thiết bị cấp khí và đĩa tản khí để cấp khí cho quá trình vận hành.
- Các đầu bút đo điều kiện môi trường pH, ORP và máy đo DO để giám sát sự thay đổi điều kiện môi trường trong quá trình tiến hành thực nghiệm.
- Nguyên lý hoạt động: mô hình hoạt động theo nguyên lý bể sinh hóa hiếu khí hoạt động theo mẻ SBR; nước thải được cấp vào thùng chứa (giai đoạn làm đầy) , sau đó sục khí theo thời gian cài đặt vận hành 1 mẻ 22h (giai đoạn phản ứng), khi kết thúc thời gian phản ứng thì ngừng cấp khí và thực hiện quá trình lắng (giai đoạn lắng) và xả nước sau xử lý có thời gian là 1,5h, giai đoạn ngưng cấp khí sẽ phụ thuộc vào người vận hành. Sau khi cấp nước vào thùng chứa xong tiến hành vớt vẩn mỡ và bọt khí nổi trên bề mặt, vì đặc điểm nước thải chế biến bột cá sẽ phát sinh nhiều vẩn mỡ không phân hủy.
- Nước sau lắng sẽ được chứa vào các thùng chứa để chuẩn bị cho quá trình xử lý bậc 2 tại thực nghiệm 2.



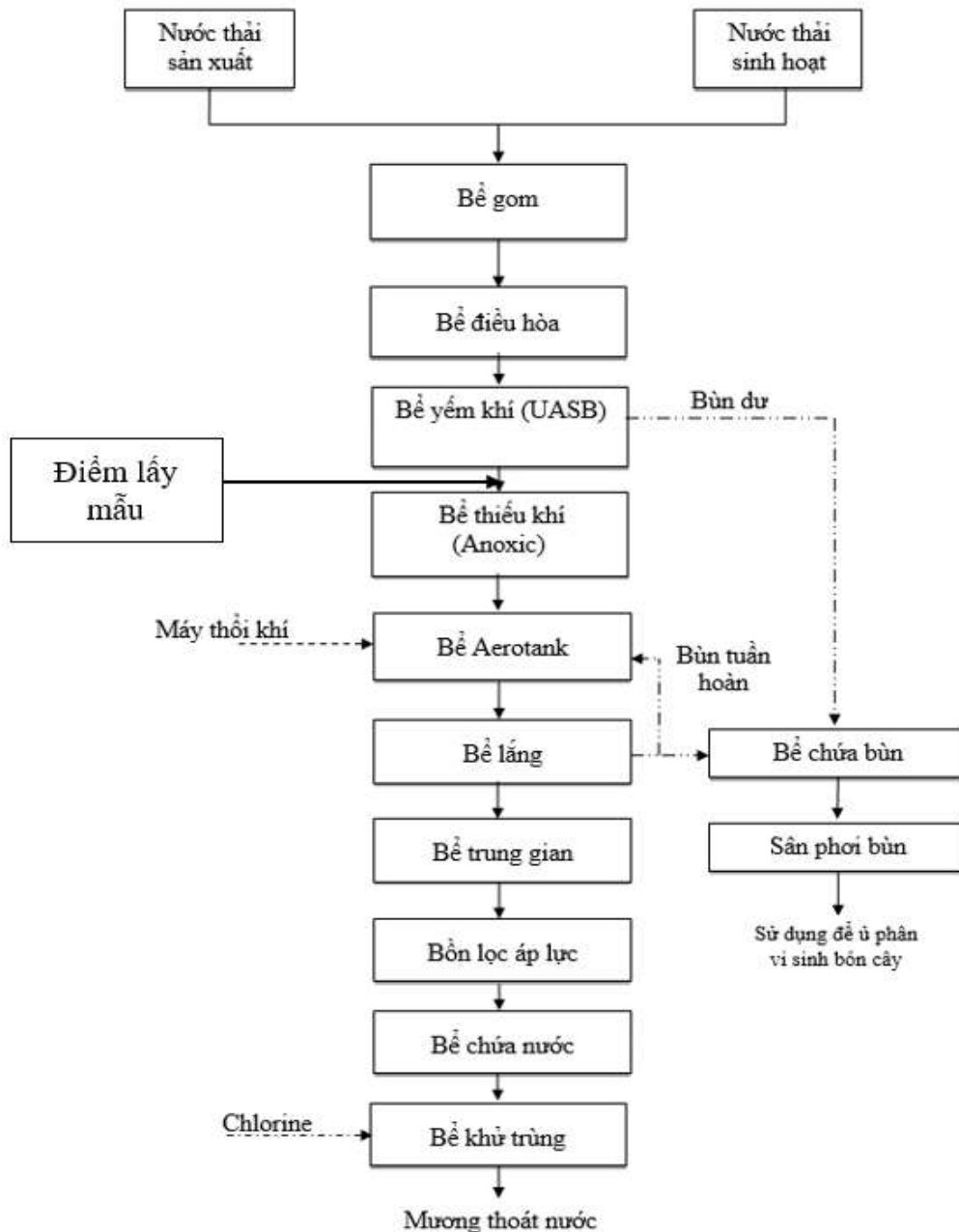
Hình 2. 2. Hình ảnh thực tế mô hình thực nghiệm

- Tiến hành mô hình sinh hóa hiếu khí tại phòng thí nghiệm để đánh giá thông số để tính toán ra thông số vận hành cho xử lý nước thải công nghiệp chế biến bột cá đạt cột A QCVN 11-MT:2015/BTNMT.

- Thời gian thực hiện mô hình thực nghiệm từ ngày 8/4/2025 đến ngày 8/8/2025. Trong đó từ ngày 8/4 đến ngày 12/4 vận hành mô hình để thích nghi bùn hoạt tính cho quá trình sinh hóa hiếu khí và nitrat hóa .

2.2.2.2. Vận hành mô hình

✚ Lấy mẫu nước thải về phục vụ cho quá trình nghiên cứu



Hình 2. 3. Sơ đồ công nghệ hệ thống xử lý nước thải tập trung của nhà máy

Nước thải sau bể điều hòa được dẫn qua bể kỵ khí (UASB). Bể này có chức năng lắng cặn và phân hủy cặn lắng. Trong bể kỵ khí diễn ra quá trình oxy hóa sinh hóa các chất hữu cơ hòa tan và dạng keo trong nước thải dưới sự tham gia của các vi sinh vật kỵ

khí. Vi sinh vật kỵ khí sẽ tiêu thụ các chất hữu cơ dạng keo và hòa tan có trong nước để sinh trưởng và tạo ra năng lượng để hoạt động. Một ưu điểm lớn của bể kỵ khí là bể có khả năng hoạt động tốt khi nồng độ BOD đầu vào cao, các vi sinh vật tiêu thụ chất hữu cơ hòa tan phần lớn để tạo ra năng lượng hoạt động và còn lại là sinh trưởng, tạo tế bào mới vì vậy lượng bùn tạo ra rất ít, đồng thời tạo ra một lượng khí CH_4 , CO_2 , H_2S và được tận dụng làm chất đốt.

Tiến hành lấy mẫu nước thải sau bể kỵ khí UASB của hệ thống. Với tần suất lấy mẫu 1 tuần 1 lần.



Hình 2. 4. Lấy mẫu nước thải tại ống xả của bể UASB

Sau khi lấy mẫu về tiến hành học để loại bỏ các tạp chất. Vì đây là nước kỵ khí nên sẽ được bảo quản ở thùng đậy nắp kín. Mẫu sau khi lấy được bảo quản và phân tích các thông số pH, độ kiềm, TSS, COD, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻,...

Quy trình vận hành hàng ngày

Vận hành 2 mô hình có tải trọng khác nhau:

Thùng 1: Vận hành với tải trọng từ $0.063 \div 0.166 \text{ gCOD/gbùn} \cdot \text{ngày}$

Thùng 2: Vận hành với tải trọng từ $0.07 \div 0.221 \text{ gCOD/gbùn} \cdot \text{ngày}$

Hàng ngày, vào lúc 7h30 sáng đến tắt sục khí, lấy mẫu 2 cốc cho 2 thùng để đánh giá độ lắng của bùn sau 30 phút, 60 phút, 90 phút và 120 phút. Sau khi đủ thời gian lắng tiến hành rút nước ra thùng chuẩn bị cho thực nghiệm 2. Khi đã hoàn thành việc xả nước tiếp tục tiến hành cấp nước thải vào lại thùng và bật sục khí. Vì nước đây là nước thải thủy sản nên khi ở điều kiện hiếu vẩn mỡ không tan được nên phát sinh ra nhiều vẩn mỡ, quá trình sục khí có thể bùn bám vào vẩn mỡ nên lượng bùn chênh lệch nhau từng ngày. Vì vậy tiến hành vớt mỡ cho đến khi không còn xuất hiện vẩn mỡ.

Lấy mẫu đầu ra đi phân tích các thông số như: Kiềm, TSS, COD, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, MLSS, MLVSS.

Quá trình chuyển hóa chất hữu cơ

Trong quá trình xử lý sinh học hiếu khí, các chất hữu cơ trong nước thải sẽ được vi sinh vật sử dụng như nguồn carbon và năng lượng; dưới điều kiện có oxy $DO \geq 2 \text{ mg/L}$, một phần chất hữu cơ sẽ bị oxy hóa hoàn toàn thành khí carbonic (CO₂) và nước (H₂O), phần còn lại được chuyển hóa thành sinh khối vi sinh vật mới, đồng thời một lượng nhỏ không bị phân hủy sẽ tồn tại dưới dạng chất rắn vô cơ (tro).

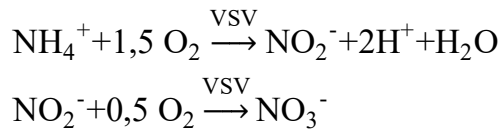
Ba hướng chuyển hóa chính của chất hữu cơ:

- + Oxy hóa tạo ra năng lượng
- + Tổng hợp sinh khối vi sinh vật (MLVSS)
- + Phần không phân hủy được được gọi là tro

Các điều kiện và yêu cầu đến quá trình xử lý amoni và nitrat hóa

Quá trình sinh hóa hiếu khí xử lý amoni và nitrat hóa là một trong những bước quan trọng trong hệ thống xử lý nước thải, đặc biệt là các hệ thống xử lý nitơ với tỷ lệ đảm bảo cho quá trình sinh hóa hiếu khí C:N:P $\approx 100:5:1$ (theo khối lượng). Đây là quá trình vi sinh vật oxy hóa amôni (NH₄⁺) thành nitrat (NO₃⁻) thông qua hai giai đoạn chính: nitrit hóa và nitrat hóa. Giai đoạn đầu tiên là nitrit hóa, trong đó vi khuẩn *Nitrosomonas* oxy hóa amôni thành nitrit (NO₂⁻). Tiếp theo là giai đoạn nitrat hóa do vi khuẩn

Nitrobacter thực hiện, chuyển nitrit thành nitrat. Cả hai nhóm vi khuẩn này đều là hiếu khí nghiêm ngặt và tự dưỡng, nghĩa là chúng cần oxy để sống và sử dụng CO₂ làm nguồn carbon, chứ không phải chất hữu cơ.



Để quá trình nitrat hóa diễn ra hiệu quả, một trong những điều kiện tiên quyết là hàm lượng oxy hòa tan (DO) phải được duy trì ở mức tối ưu. Vi khuẩn nitrat hóa cần rất nhiều oxy để thực hiện quá trình oxy hóa amôni và nitrit. Do đó, DO trong bể sinh học phải được giữ ổn định từ 2 đến 4 mg/L. Nếu nồng độ oxy thấp hơn 1 mg/L, hiệu suất xử lý nitơ sẽ giảm đáng kể do vi khuẩn không thể hoạt động bình thường, thậm chí bị ức chế. Vì vậy, việc cung cấp đủ lượng oxy thông qua hệ thống sục khí là một yếu tố kỹ thuật quan trọng trong thiết kế và vận hành hệ thống xử lý nước thải có tích hợp quá trình nitrat hóa.

Nhiệt độ cũng là yếu tố ảnh hưởng lớn đến tốc độ và hiệu quả của quá trình. Vi khuẩn nitrat hóa hoạt động mạnh nhất trong khoảng nhiệt độ từ 25°C đến 35°C. Khi nhiệt độ giảm xuống dưới 15°C, tốc độ chuyển hóa amôni sẽ chậm lại đáng kể. Nếu nhiệt độ xuống dưới 5°C, quá trình gần như ngừng hoạt động hoàn toàn. Vì vậy, đối với các vùng khí hậu lạnh, cần có các biện pháp cách nhiệt hoặc làm ấm nước thải để đảm bảo hiệu suất xử lý.

Một điều kiện không thể bỏ qua nữa là pH. Trong quá trình nitrat hóa, ion H⁺ được sinh ra, làm giảm pH của nước thải. Nếu pH giảm xuống dưới 6,5, vi khuẩn nitrat hóa sẽ bị ức chế hoạt động. Do đó, cần duy trì pH trong khoảng từ 7,0 đến 8,5 để đảm bảo môi trường ổn định cho vi khuẩn phát triển. Việc bổ sung chất kiềm như natri bicarbonat (NaHCO₃) hoặc vôi (CaCO₃) thường được áp dụng để kiểm soát pH, đặc biệt khi tải lượng amôni đầu vào cao.

Tỷ lệ giữa carbon và nitơ (C:N) trong nước thải cũng ảnh hưởng đến hiệu suất của quá trình. Do vi khuẩn nitrat hóa là tự dưỡng, chúng không cần carbon hữu cơ để phát triển. Nếu nước thải có nồng độ chất hữu cơ cao, vi khuẩn dị dưỡng sẽ chiếm ưu thế, tiêu thụ nhiều oxy và chiếm không gian sống, làm giảm điều kiện thuận lợi cho vi khuẩn nitrat hóa.

2.2.3. Phương pháp

Trong quá trình tiến hành thực nghiệm, phải thực hiện các thao tác trích mẫu, bảo quản mẫu và phân tích các thông số bùn và chất lượng nước. Vận hành theo mô hình hóa lấy mẫu đo các thông số.

Các phương pháp được sử dụng bao gồm:

- Lấy mẫu được thực hiện theo TCVN 6663-1:2011
- Bảo quản mẫu theo TCVN 6663-3:2008
- Phân tích các thông số chất lượng nước theo các TCVN được liệt kê tại bảng sau:

Bảng 2. 1. Các phương pháp phân tích các thông số chất lượng nước thải

STT	Chỉ tiêu	Phương pháp	Dụng cụ
1	pH	TCVN 6492:2011	Máy đo pH Adwa AD12 Giấy quỳ đo pH
2	Độ kiềm	TCVN 6636-1:2000	Các dụng cụ tại phòng thí nghiệm
3	TSS	TCVN 6625:2000	TB hút chân không TB sấy Heraeus T6
4	COD	TCVN 6491:1999	TB phá mẫu HACH DRB200 Máy đo quang HACH DR900
5	N-NH ₄ ⁺	TCVN 5988:1995	Bếp điện, bộ chưng cất
6	N-NO ₃ ⁻	TCVN 6180:1996	Máy đo quang Jasco V-530
7	P-PO ₃ ⁻	TCVN 4567:1988	Máy đo quang Jasco V-530

Phương pháp thống kê, so sánh: các kết quả phân tích được so sánh với QCVN 11-MT:2015/BTNMT.

Một số hình ảnh thực hiện thực nghiệm được thể hiện từ hình 2.5 đến hình 2.7



Hình 2. 5. Quá trình vớt mỡ sau khi cấp



Hình 2. 6. Lấy nước đầu ra tại mô hình



Hình 2. 7. Phân tích các thông số

Trong quá trình xử lý số liệu và tính toán kết quả để đánh giá được mức độ xử lý, các công thức được sử dụng bao gồm:

- Tải trọng chất hữu cơ: $L_{CHC} = \frac{C_0 \times V_0}{a \times V_{bể}} \times T$

Trong đó: C_0 : nồng độ chất hữu cơ trong nước thải (g/L)

V_0 : thể tích nước chứa thải (m^3)

a : nồng độ bùn trong bể hiếu khí (g/L)

$V_{bể}$: thể tích hữu ích của bể hiếu khí (m^3)

T : thời gian vận hành 1 chu kỳ (h)

- Tải trọng chất dinh dưỡng (N-NH₄⁺): $L_{CDD} = \frac{C_1 \times V_0}{a \times V_{bể}} \times \frac{24}{T}$

Trong đó: C_1 : nồng độ chất dinh dưỡng (N-NH₄⁺) trong nước thải (g/L)

V_0 : thể tích nước chứa thải (m^3)

a : nồng độ bùn trong bể hiếu khí (g/L)

$V_{bể}$: thể tích hữu ích của bể hiếu khí (m^3)

T : thời gian vận hành 1 chu kỳ (h)

- Tải trọng riêng trên đơn vị khối lượng bùn:

$$L_R = \frac{m_{CHC}}{m_{MLSS}} \times \frac{24}{T} \text{ (g}_{CHC} / \text{g}_{MLSS} \cdot \text{ngày đêm)}$$

Trong đó: m_{CHC} : Lượng chất hữu cơ đưa vào hệ thống mỗi giờ (g/h)

$m_{bùn}$: Khối lượng bùn hoạt tính (MLSS) có trong hệ thống (g)

- Hiệu suất xử lý (E)

$$E = \frac{C_V - C_R}{C_V} \times 100$$

Trong đó: E - Hiệu suất xử lý (%)

C_V - Nồng độ đầu vào bể (mg/L)

C_R - Nồng độ đầu ra bể (mg/L)

2.3. Kết quả và thảo luận

2.3.1. Đặc điểm nước thải sau kỵ khí

Kết quả phân tích chất lượng nước từ nhà máy chế biến thủy sản trong quá trình kỵ khí tại bể UASB được thể hiện tại bảng 2.2.

Bảng 2. 2. Các thông số các lần lấy mẫu sau bể kỵ khí UASB

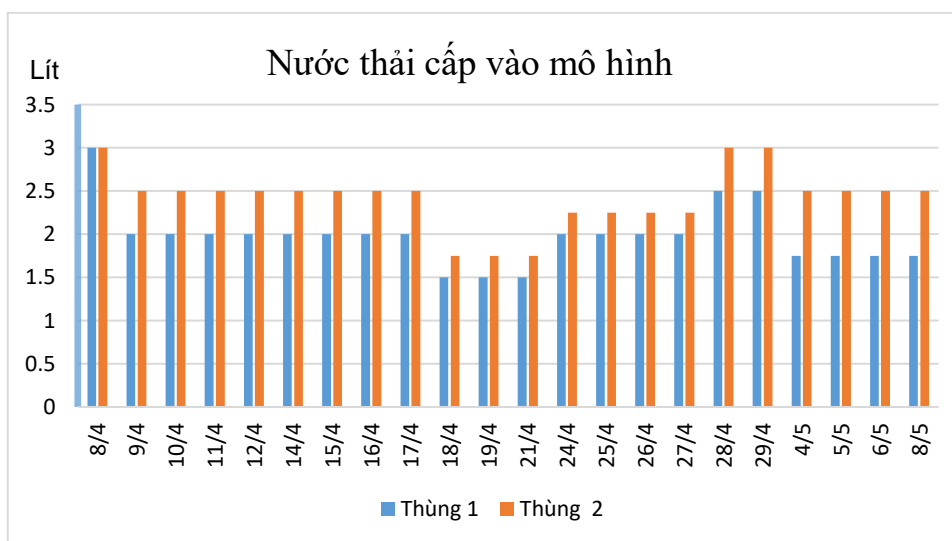
STT	Thông số	Đơn vị	Sau bể UASB			
			Đợt 1 (8/4)	Đợt 2 (15/4)	Đợt 3 (22/4)	Đợt 4 (28/4)
1	pH	-	8	7.9	8.2	8.3
2	Độ kiềm	mgCaCO ₃ /L	13000	14000	14560	13560
3	TSS	mg/L	4469	5190	5275	4760
4	COD	mg/L	4230	5700	4840	5310
5	N-NH ₄ ⁺	mg/L	1527	1500	1610	1510
7	N-NO ₃ ⁻	mg/L	0.12	0.19	0.1	0.1

Dựa trên kết quả phân tích các mẫu nước thải sau bể kỵ khí UASB, có thể nhận xét như sau:

Hàm lượng chất hữu cơ, biểu thị qua chỉ số COD, dao động từ 4230 đến 5700 mg/L, cho thấy nước thải có tải lượng hữu cơ rất cao. Đây là điều kiện thuận lợi cho quá trình xử lý kỵ khí vì vi sinh vật kỵ khí cần nguồn carbon làm cơ chất để phân hủy.

Về mặt dinh dưỡng, nồng độ nitơ amoni (N-NH₄⁺) rất cao, duy trì ở mức trên 1500 mg/L. Trong khi đó, nồng độ nitrat (N-NO₃⁻) lại rất thấp (chỉ khoảng 0.1–0.2 mg/L), cho thấy quá trình nitrat hóa hầu như chưa diễn ra trong điều kiện kỵ khí của bể UASB.

Lượng nước thải cấp vào mô hình sẽ chênh lệch nhau giữa 2 thùng.



Hình 2. 8. Lượng nước thải cấp vào mô hình

2.3.2. Kết quả điều kiện môi trường

Kết quả giám sát điều kiện môi trường và các thông số nồng độ bùn hoạt tính được trình bày ở bảng 2.3.

Bảng 2. 3. Kết quả quan trắc điều kiện môi trường theo thời gian

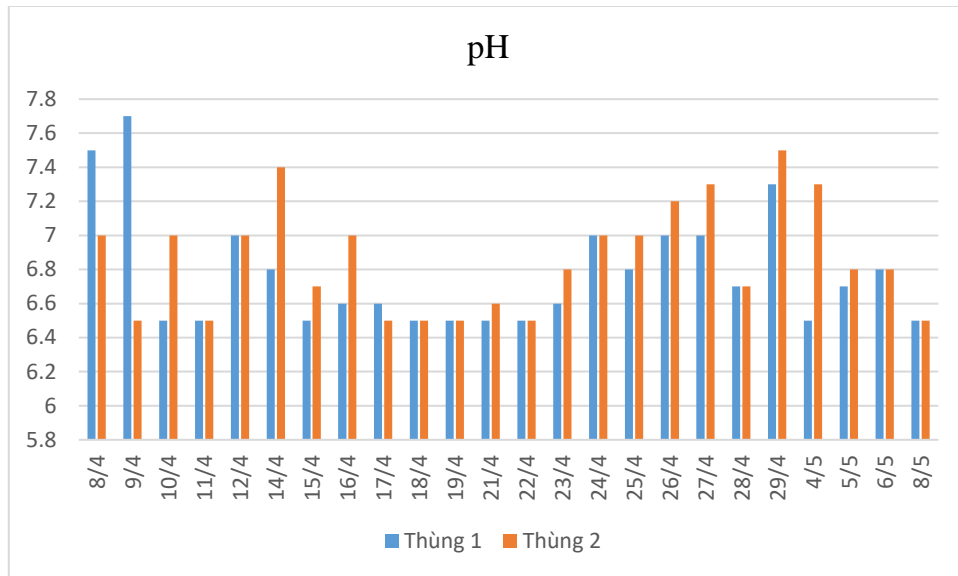
Ngày	pH	DO (mg/l)	ORP (mV)	MLSS (mg/L)	MLVSS (g)
8/4	7.5	-	-	-	-
	7	-	-	-	-
9/4	7.7	-	-	3.56	2.54
	6.5	-	-	3.66	2.79
10/4	6.5	2.13	47	3.62	2.94
	7	2.96	44	3.95	2.86
11/4	6.5	2.86	58	3.94	3.07
	6.5	2.03	52	3.96	3.14
12/4	7	2.48	98	3.81	2.79
	7	2.77	89	3.73	3.03
14/4	6.8	5.51	84	4.02	3.15
	7.4	4.63	59	4.18	3.22
15/4	6.5	3.98	30	4.06	2.97
	6.7	3.51	24	4.11	3.06
16/4	6.6	3.76	35	3.12	3.18
	7	3.22	28	4.05	3.08
17/4	6.6	4.02	45	3.84	2.76
	6.5	3.88	38	3.92	2.96
18/4	6.5	3.97	52	3.81	2.86
	6.5	4.05	54	3.89	2.92
19/4	6.5	5.3	79	3.79	3.02
	6.5	3.87	64	4.12	3.26

Đề tài: Nghiên cứu áp dụng công trình đất ướt làm sạch hoàn toàn nước thải sau xử lý sinh học hướng đến tái sử dụng nước

21/4	6.5	5.2	90	3.51	2.59
	6.6	4.07	81	3.66	2.79
22/4	6.5	4.15	117	3.86	3.02
	6.5	5.12	88	3.96	2.99
23/4	6.6	4.56	107	3.59	2.86
	6.8	5.25	90	4.09	2.895
24/4	7	5.01	90	3.64	2.88
	7	5.44	89	3.92	3.11
25/4	6.8	4.88	86	3.51	2.44
	7	5.02	80	3.79	2.75
26/4	7	4.32	102	3.26	2.18
	7.2	5.05	90	3.48	2.33
27/4	7	4.56	116	3.11	2.19
	7.3	4.89	97	3.62	2.79
28/4	6.7	4.01	112	3.22	2.36
	6.7	4.66	105	3.5	2.42
29/4	7.3	4.42	108	3.14	2.03
	7.5	4.79	101	3.65	2.86
4/5	6.5	-	-	3.11	2.95
	7.3	-	-	3.15	2.94
5/5	6.7	4.33	92	3.12	2.04
	6.8	4.49	86	3.95	2.86
6/5	6.8	4.37	94	4.64	3.55
	6.8	4.41	88	5.32	2.03
8/5	6.5	5.01	98	3.04	1.96
	6.5	4.79	89	2.03	1.14

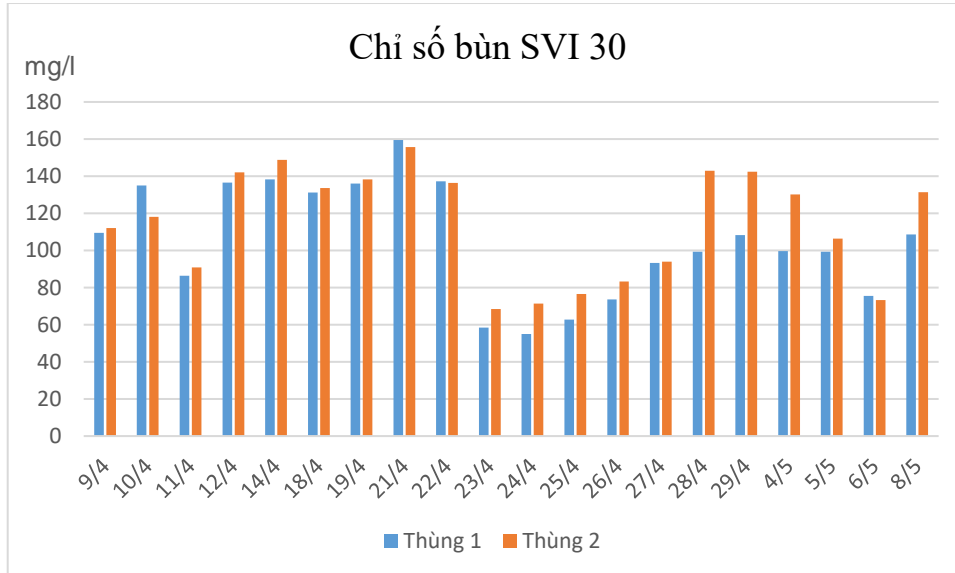
Các thông số môi trường đầu ra dao động tương đối ổn định đảm bảo điều kiện cho quá trình sinh hóa hiếu khí diễn ra.

➤ Đối với pH



Hình 2. 9. pH của mẫu nước đầu ra ở 2 thùng

- Giá trị pH ở các mẻ đầu ra của 2 thùng lần lượt nằm trong khoảng $6.5 \div 7.7$
- Biểu đồ thể hiện sự thay đổi chỉ số bùn SVI 30 (mg/l) theo thời gian cho thấy lượng bùn dao động trong khoảng $70 \div 160\text{mg/l}$ phần lớn nằm trong khoảng chấp nhận được.



Hình 2. 10..Chỉ số bùn SVI30 của 2 thùng



Hình 2. 11..Bùn lắng của 2 thùng

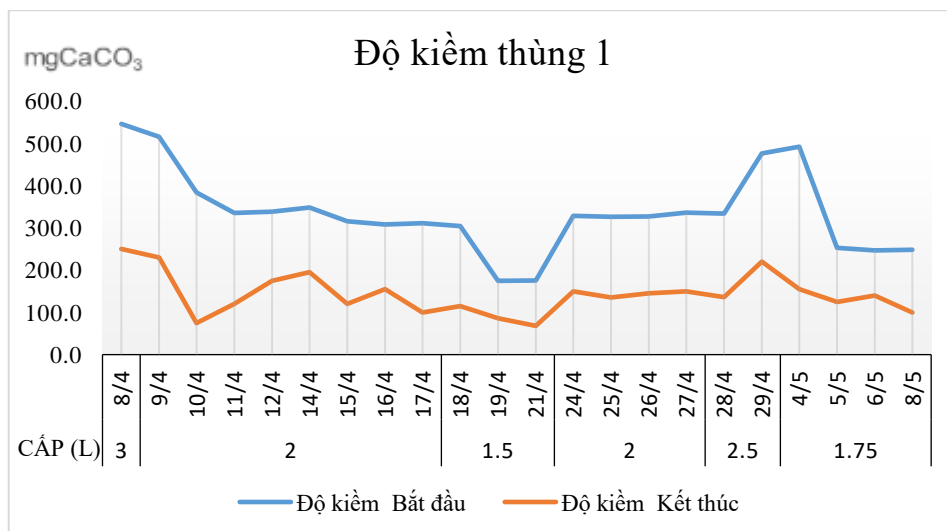
2.3.3. Quá trình chuyển hóa chất hữu cơ

Kết quả quá trình phân tích chất lượng nước thải và nước sau xử lý của mô hình được trình bày ở **PHỤ LỤC 1**.

Kết quả phân tích nước đầu vào và đầu ra mô hình cho thấy:

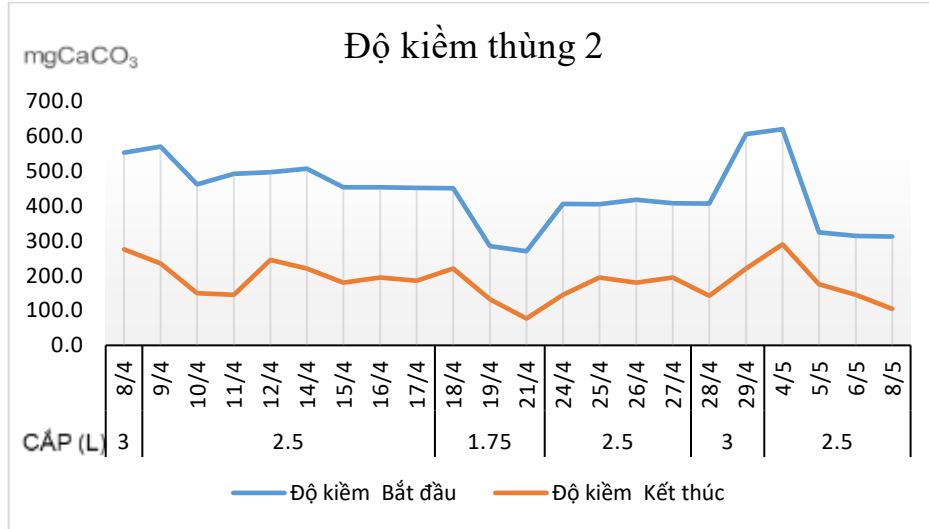
➤ Độ kiềm

- Kết quả độ kiềm đầu vào và đầu ra của hệ thống xem ở **PHỤ LỤC 1**.



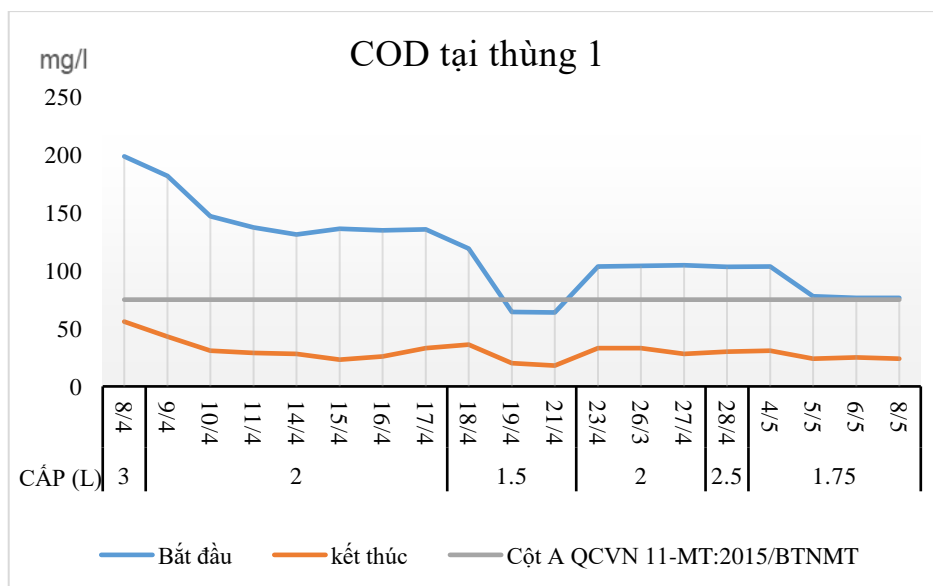
Hình 2. 12.Độ kiềm bắt đầu và kết thúc của thùng 1

- Thời điểm bắt đầu độ kiềm tại thùng 1 thay đổi lần lượt nằm trong khoảng từ 174 ÷ 585 mgCaCO₃/L.
- Sau thời gian 22h sục khí, độ kiềm tại thùng 1 ở các mẻ đều giảm lần lượt nằm trong khoảng từ 75 ÷ 250 mgCaCO₃/L

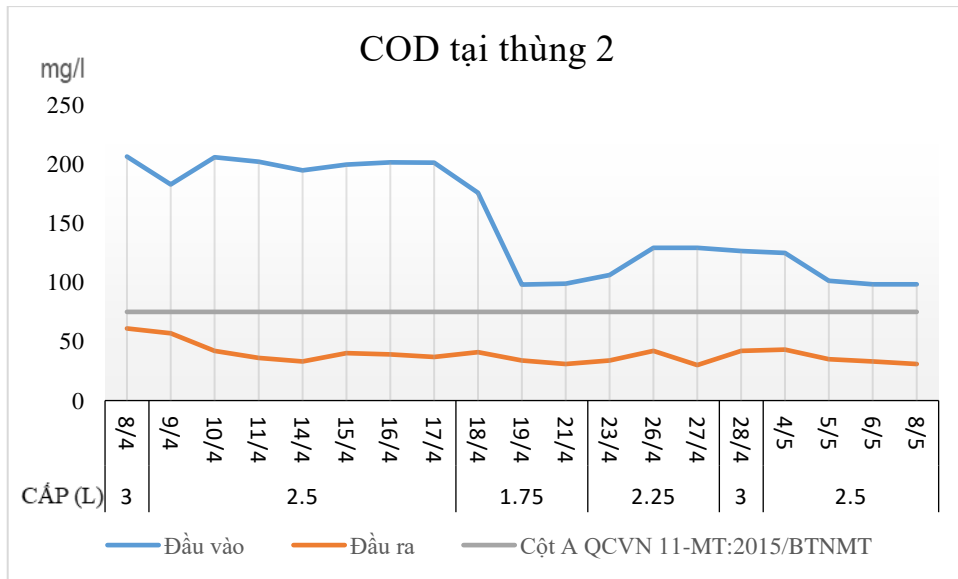


Hình 2. 13. Độ kiềm bắt đầu và kết thúc của thùng 2

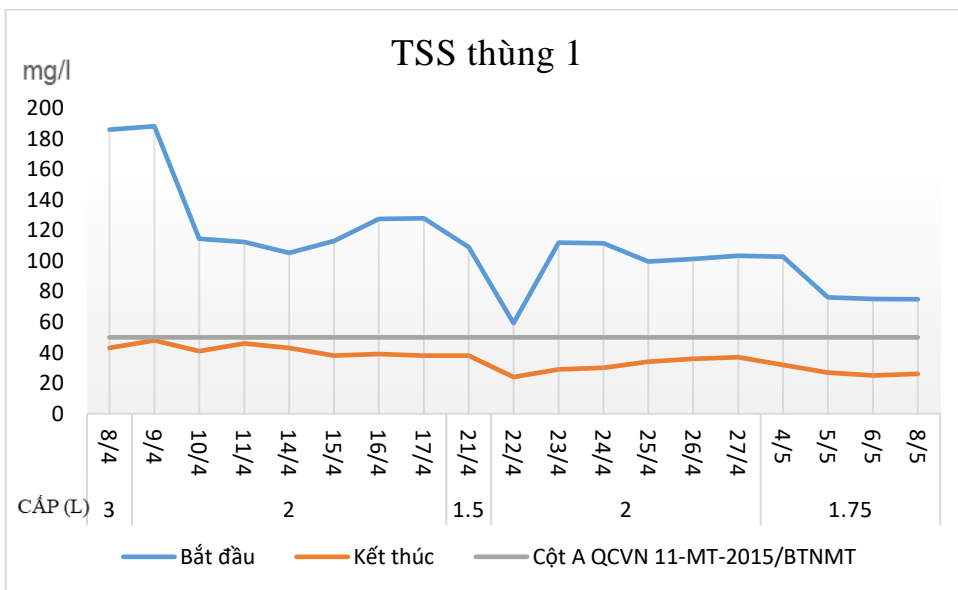
- Thời điểm bắt đầu độ kiềm tại thùng 2 thay đổi lần lượt nằm trong khoảng từ 258 ÷ 614 mgCaCO₃/L.
- Sau thời gian 22h sục khí, độ kiềm tại thùng 2 ở các mẻ đều giảm lần lượt nằm trong khoảng từ 77 ÷ 290 mgCaCO₃/L
- Biểu đồ thể hiện nồng độ bắt đầu kết thúc của thông số COD và TSS trong 2 thùng được biểu hiện tại hình 2.11. đến hình 2.14.



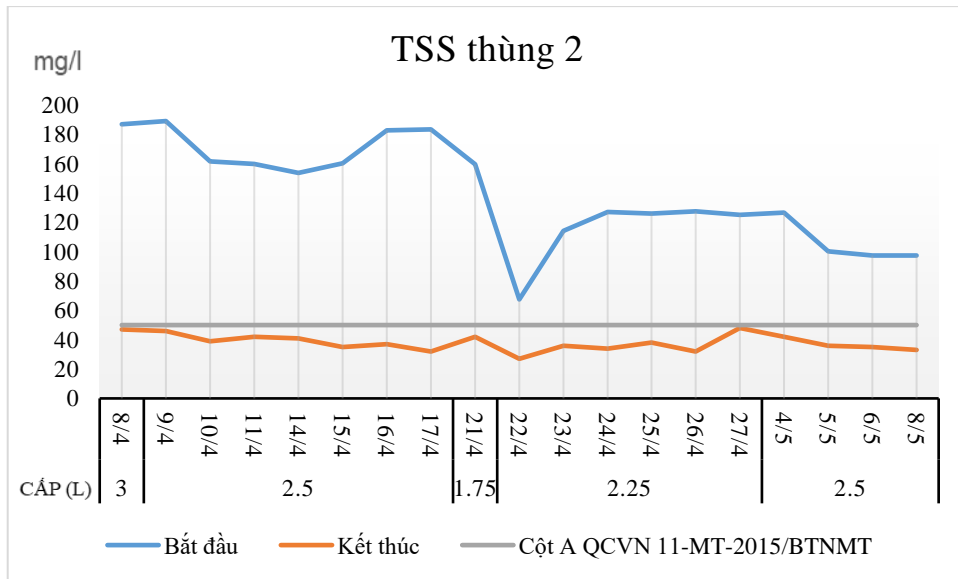
Hình 2. 14. Nồng độ COD bắt đầu và kết thúc của thùng 1



Hình 2. 15. Nồng độ COD bắt đầu và kết thúc của thùng 2

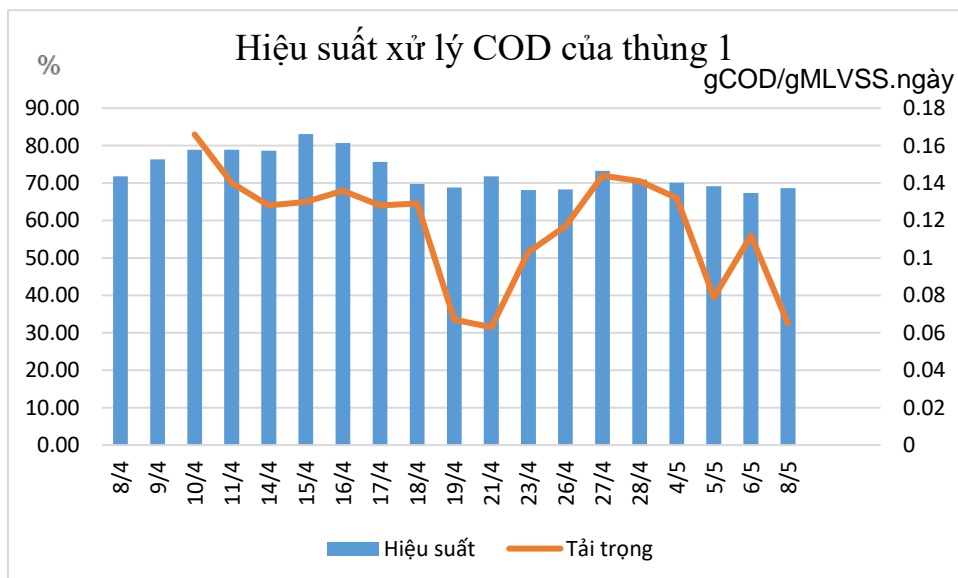


Hình 2. 16. Nồng độ TSS bắt đầu và kết thúc của thùng 1



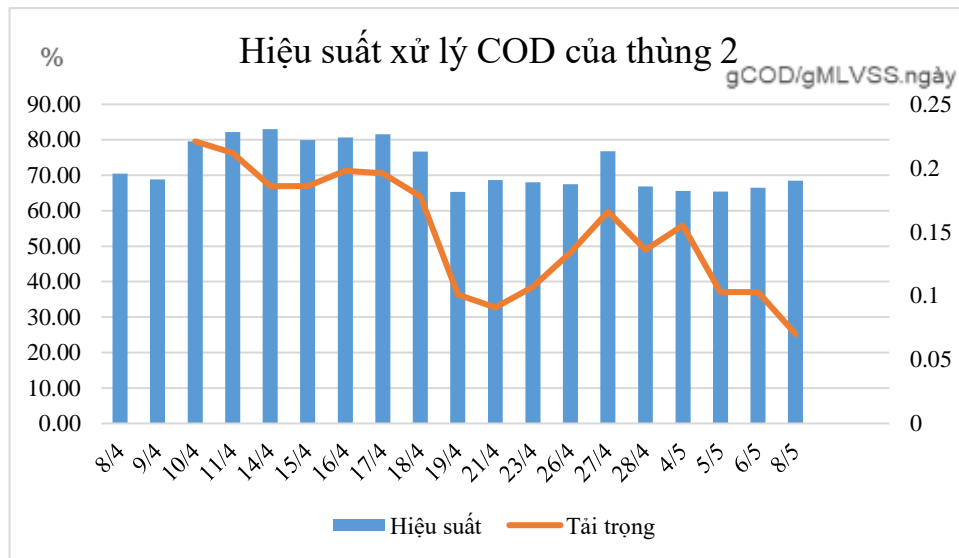
Hình 2. 17. Nồng độ TSS bắt đầu và kết thúc của thùng 2

- Kết quả phân tích chất lượng nước sau xử lý cho thấy: Nồng độ chất hữu cơ theo COD thùng 1 = 23 ÷ 72mg/l; thùng 2 = 28 ÷ 68mg/l và nồng độ TSS trong thùng 1 = 24 ÷ 48 mg/l; thùng 2 = 32 ÷ 47 mg/l. Cả 2 thùng này đều đạt QCVN 11-MT:2015/BTNMT cột A về nồng độ COD và TSS.
- Hiệu suất quá trình chuyển hóa chất hữu cơ COD của thùng 1 với tải trọng theo khối lượng là 0.061 ÷ 0.166 gCOD/gMLVSS.ngày, hiệu suất xử lý đạt từ 68 ÷ 83% (trung bình 73.19%) so với thời điểm ban đầu (63 ÷ 199 mg/l)



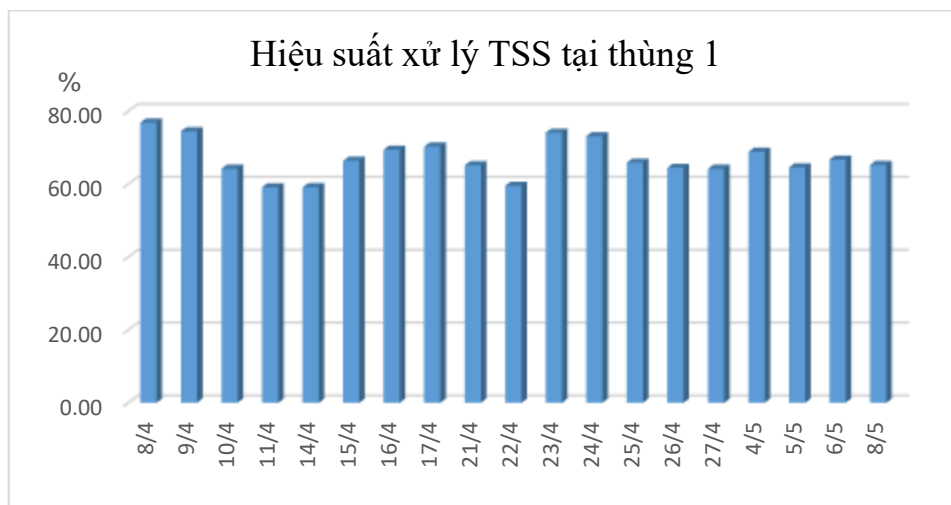
Hình 2. 18. Hiệu suất xử lý COD của thùng 1

- Hiệu suất chuyển hóa chất hữu cơ COD của thùng 2 với tải trọng theo khối lượng là $0.07 \div 0.221$ gCOD/gMLVSS.ngày, hiệu suất xử lý đạt $65 \div 83\%$ (trung bình 72.74%) so với thời điểm ban đầu ($61 \div 206$ mg/l).



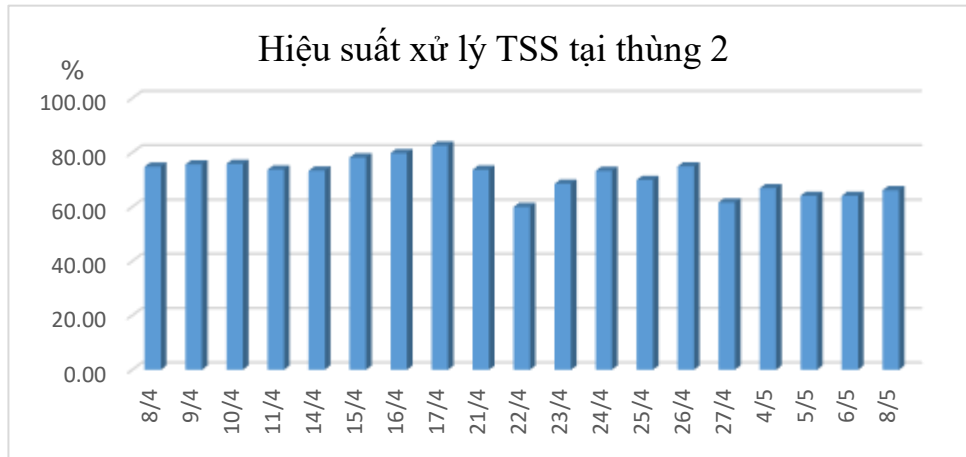
Hình 2. 19. Hiệu suất xử lý COD của thùng 2.

Hiệu suất xử lý chất rắn lơ lửng TSS của thùng 1 đạt $60 \div 77\%$ (trung bình 66.95%) so với thời điểm ban đầu ($75 \div 188$ mg/l).



Hình 2. 20. Hiệu suất xử lý TSS của thùng 1.

Hiệu suất xử lý chất rắn lơ lửng TSS của thùng 2 đạt $60 \div 82\%$ (trung bình 71.41%) so với thời điểm ban đầu ($97 \div 189$ mg/l).



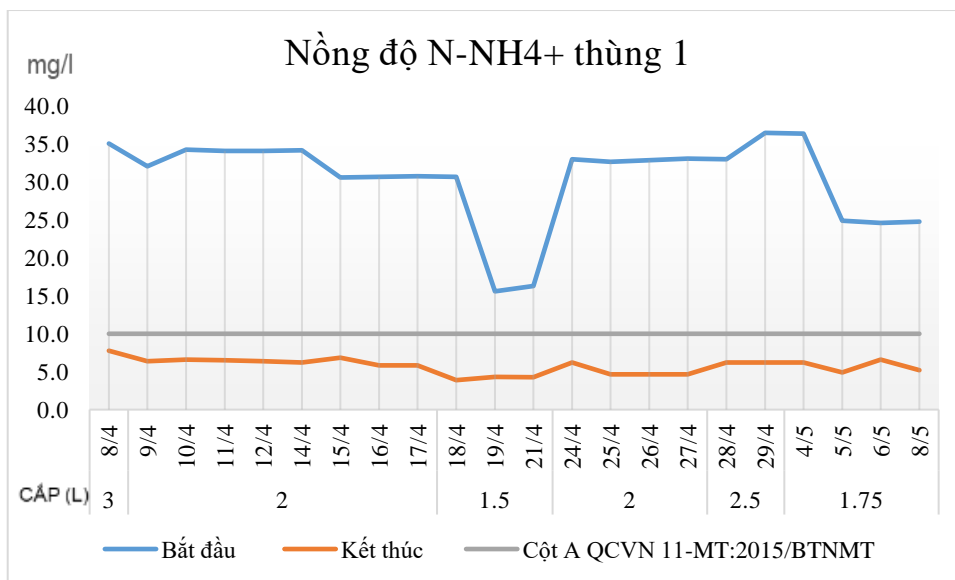
Hình 2. 21. Hiệu suất xử lý TSS của thùng 1.

Nồng độ chất hữu cơ COD, TSS có trong nước sau xử lý đều đạt QCVN 11-MT:2015/BTNMT cột A.

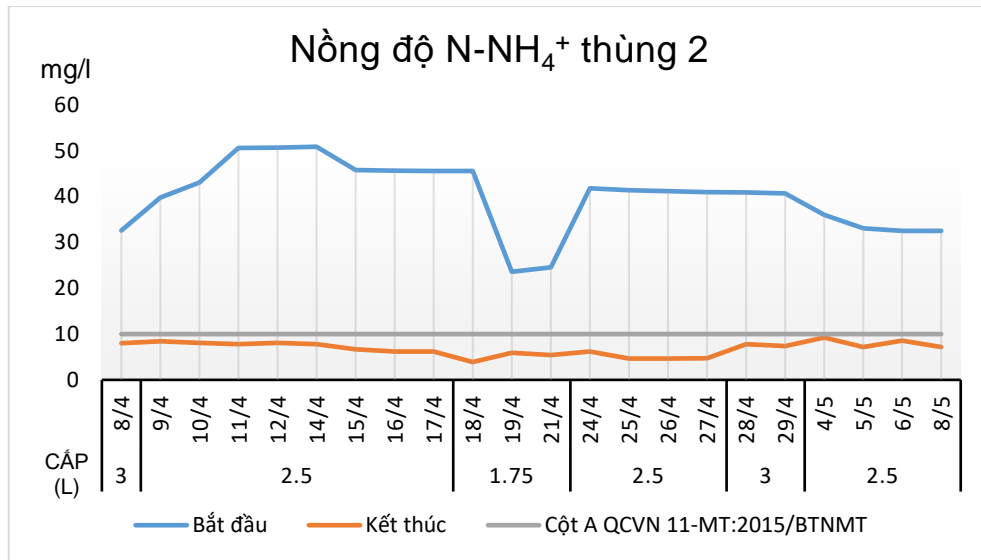
2.3.4. Quá trình Nitrat hóa

Kết quả quá trình phân tích chất lượng nước thải và nước sau xử lý của mô hình được trình bày ở PHỤ LỤC 1.

Sau quá trình sục khí thì nồng độ $N-NH_4^+$ đầu ra của thùng 1 = 3.9 ÷ 7.7 mg/l; thùng 2 = 3.9 ÷ 9.24 mg/l. Nước sau xử lý của cả 2 thùng này đều đạt QCVN 11-MT:2015/BTNMT cột A

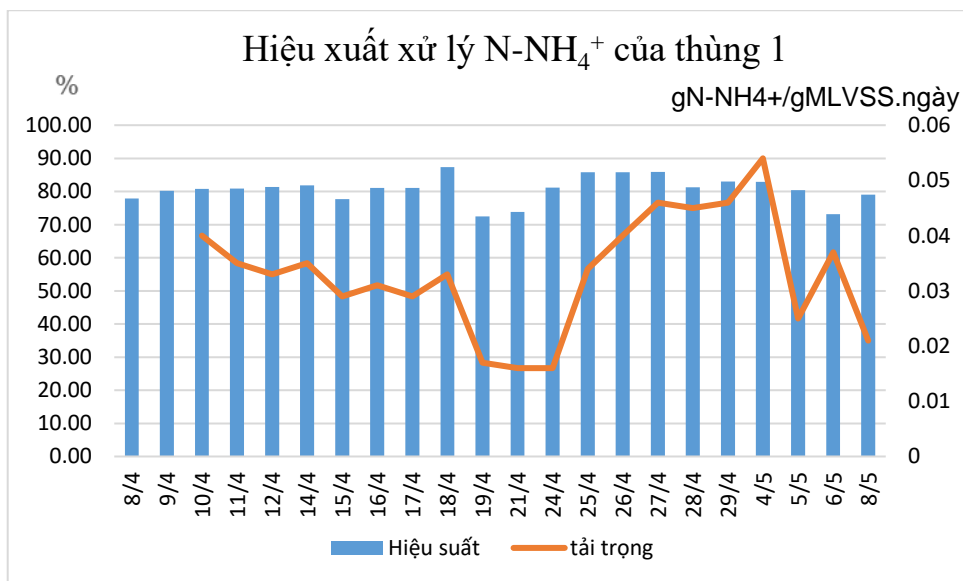


Hình 2. 22. Nồng độ $N-NH_4^+$ bắt đầu và kết thúc của thùng 1



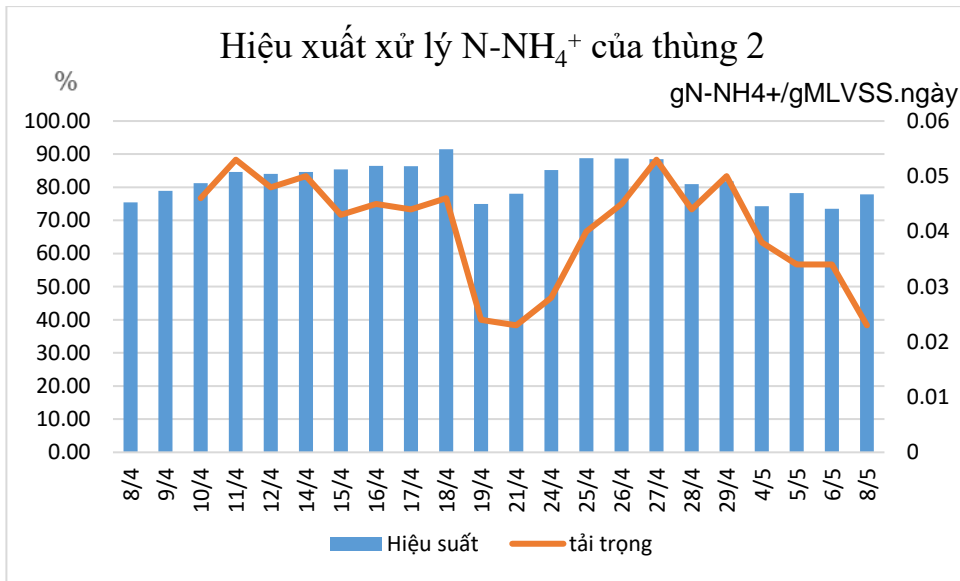
Hình 2. 23. Nồng độ $N-NH_4^+$ bắt đầu và kết thúc của thùng 2

Hiệu suất quá trình chuyển hóa chất hữu cơ $N-NH_4^+$ của thùng 1 với tải trọng theo khối lượng là $0.016 \div 0.054 \text{ gN-NH}_4^+/\text{gMLVSS.ngày}$, hiệu suất xử lý đạt từ 72 ÷ 86% (trung bình 80.66%) so với thời điểm ban đầu ($16 \div 36.5 \text{ mg/l}$).



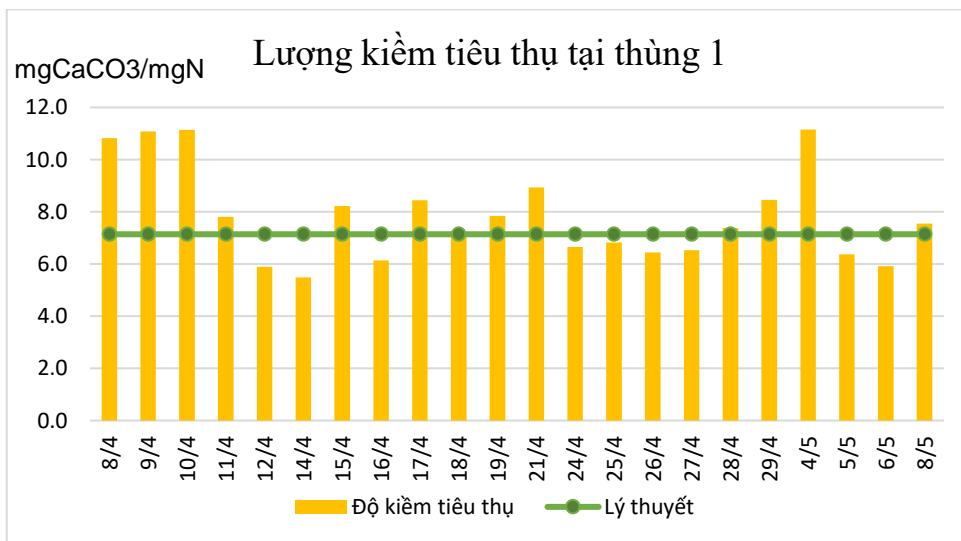
Hình 2. 24. Hiệu suất xử lý $N-NH_4^+$ của thùng 1

Hiệu suất xử lý chuyển hóa chất hữu cơ $N-NH_4^+$ của thùng 2 với tải trọng theo khối lượng là $0.023 \div 0.053 \text{ gN-NH}_4^+/\text{gMLVSS.ngày}$, hiệu suất xử lý đạt 73 ÷ 89% (trung bình 82.25%) so với thời điểm ban đầu ($23 \div 50.7 \text{ mg/l}$).

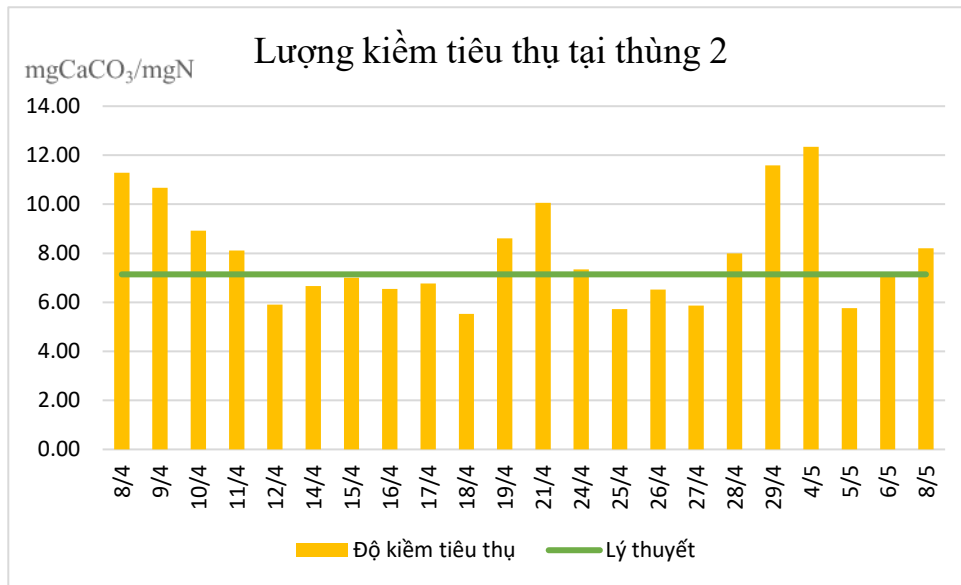


Hình 2. 25. Hiệu suất xử lý N-NH₄⁺ của thùng 2

Lượng kiểm tiêu thụ cho quá trình chuyển hóa amoni trong quá trình nitrat hóa thực tế ở các mẻ tại thùng 1 đạt 5.5 ÷ 11.2 mgCaCO₃/mgN (TB 7.82 mgCaCO₃/mgN), thùng 2 đạt 5.53 ÷ 12.34 mgCaCO₃/mgN (TB 7.93 mgCaCO₃/mgN). So với tài liệu liên quan [10] thì kết quả trên cao hơn lý thuyết 7.14 mgCaCO₃/mgN. Thực tế cao hoặc thấp hơn có thể do yếu tố tác động như nhiệt độ hoặc cũng có thể do tính chất của nước thải thủy sản.



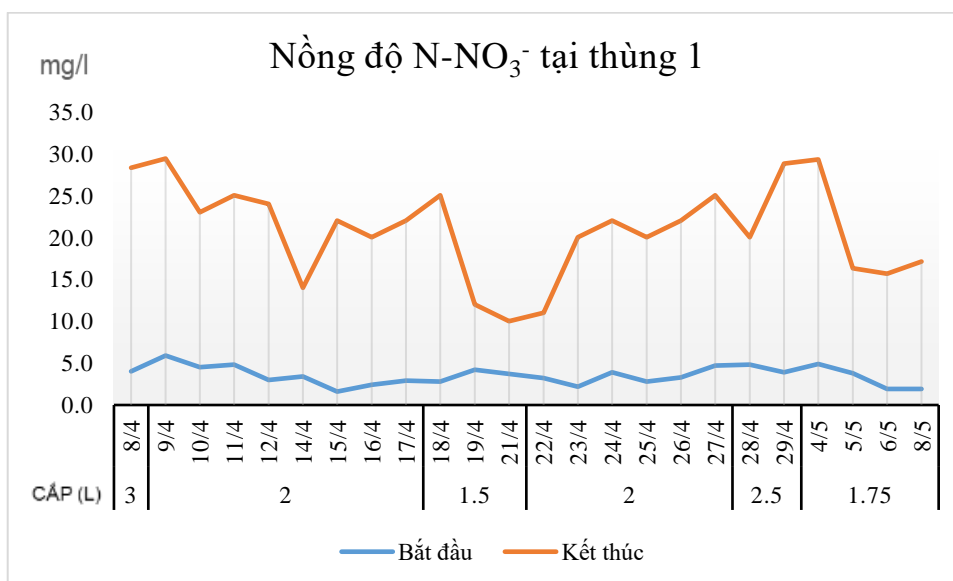
Hình 2. 26. Lượng kiểm tiêu thụ của thùng 1



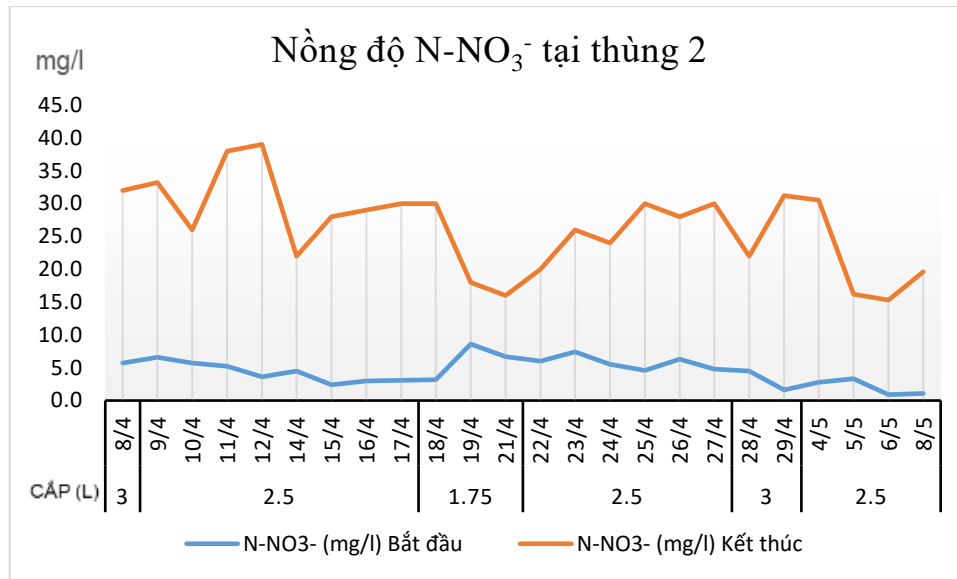
Hình 2. 27. Lượng kiềm tiêu thụ của thùng 2

Nồng độ $N-NO_3^-$ lúc mới bắt đầu sẽ thấp do nguồn nước thải là nước kỵ khí nên amoni chưa chuyển hóa thành Nitrat. Sau khi trải qua quá trình sinh hóa hiếu khí thì lúc đó quá trình Nitrat hóa xảy ra. Nồng độ $N-NO_3^-$ lúc bắt đầu tại thùng 1 lần lượt nằm trong khoảng từ 1.6mg/l ÷ 5.9mg/l, lúc mới bắt đầu tại thùng 2 lần lượt nằm trong khoảng từ 1.1 ÷ 7.4mg/l.

Kết quả phân tích chất lượng nước sau xử lý cho thấy: Nồng độ $N-NO_3^-$ của nước sau xử lý tại thùng 1 lần lượt nằm trong khoảng từ 10 ÷ 29.4 mg/l, nước sau xử lý của thùng 2 lần lượt nằm trong khoảng từ 15.3 ÷ 33.2mg/l.



Hình 2. 28. Nồng độ $N-NO_3^-$ bắt đầu và kết thúc của thùng 1



Hình 2. 29. Nồng độ N-NO₃⁻ bắt đầu và kết thúc của thùng 2

2.3.5. Kết luận

Nghiên cứu thực nghiệm kết quả xử lý chất hữu cơ và nitrat hóa bằng quá trình bùn hoạt tính. Kết quả thực nghiệm cho thấy:

- Nồng độ TSS và nồng độ chất hữu cơ theo COD đạt cột A theo QCVN 11-MT: 2015/BTNMT
 - + Hiệu suất xử lý COD tại thùng 1 đạt từ 68 đến 83%.
 - + Hiệu suất xử lý COD tại thùng 2 đạt từ 65 đến 83%
 - + Hiệu suất xử lý TSS tại thùng 1 đạt từ 60 đến 77%.
 - + Hiệu suất xử lý TSS tại thùng 2 đạt từ 60 đến 82%.
- Lượng kiềm tiêu thụ của trung bình của thùng 1 là 7.82 mgCaCO₃/mgN, lượng kiềm tiêu thụ của trung bình của thùng 2 là 7.93 mgCaCO₃/mgN. Lớn hơn lý thuyết là 7.14 93 mgCaCO₃/mgN
- Nồng độ chất dinh dưỡng theo N-NH₄⁺ đạt cột A theo QCVN 11-MT 2015/BTNMT.
 - + Hiệu suất xử lý N-NH₄⁺ tại thùng 1 đạt từ 72 đến 86%.
 - + Hiệu suất xử lý N-NH₄⁺ tại thùng 2 đạt từ 73 đến 89%
- Nồng độ N-NO₃⁻ sau quá trình nitrat hóa tại thùng 1 là 10 ÷ 29.4 mg/l, còn tại thùng 2 nồng độ N-NO₃⁻ là 15.3 mg/l ÷ 33.2 mg/l
- Nước đầu ra các thông số đều đạt cột A theo QCVN 11-MT 2015/BTNMT. Nhưng lượng N-NO₃⁻ còn cao nên cần thêm áp dụng thực nghiệm 2 bằng mô hình đất ướt để xử lý triệt để.



Hình 2. 30. Nước đầu ra của mô hình thực nghiệm 1

NHIỆM VỤ 3: NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM QUÁ TRÌNH LÀM SẠCH HOÀN TOÀN NƯỚC THẢI SAU XỬ LÝ SINH HỌC

3.1. Mục đích

Áp dụng nghiên cứu thực nghiệm mô hình đất ướt để làm sạch hoàn toàn chất hữu cơ và chất dinh dưỡng còn lại trong nước sau xử lý sinh học hướng đến tái sử dụng nước.

3.2. Đối tượng, nội dung, phương pháp

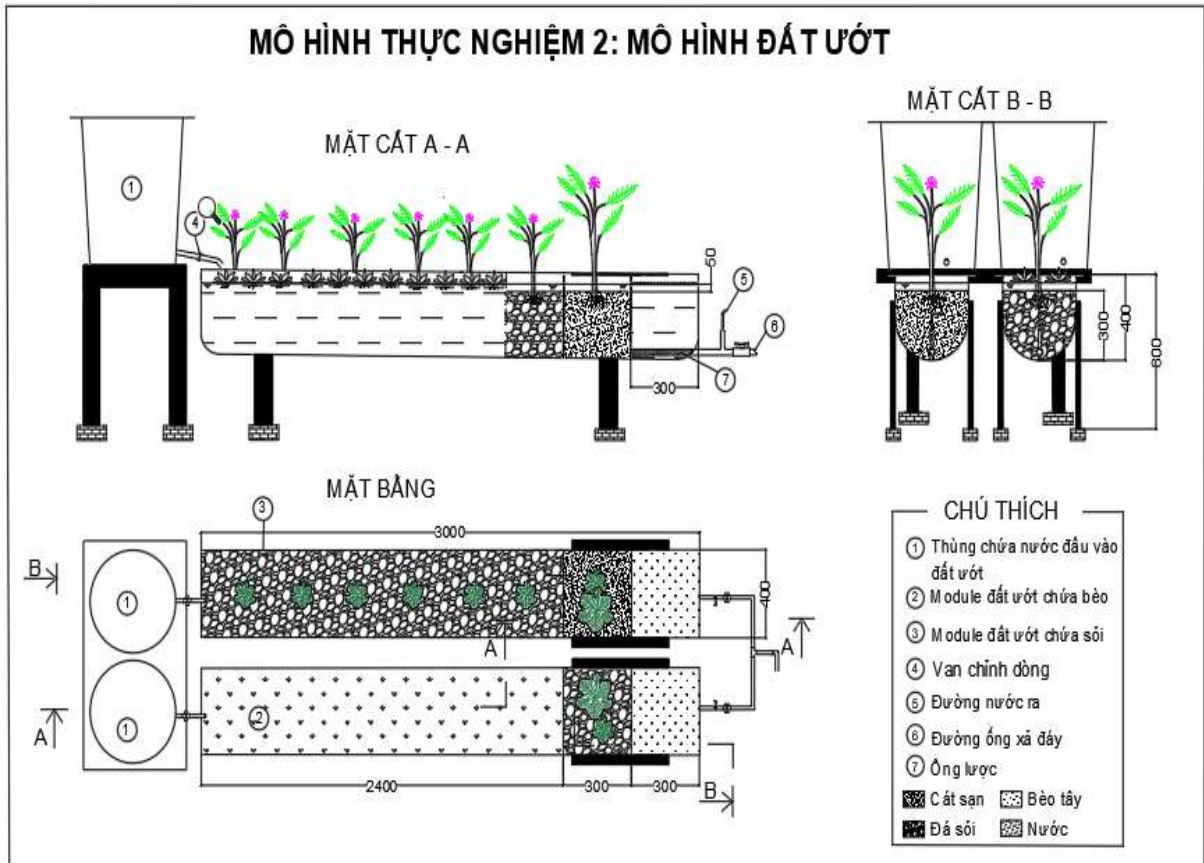
3.2.1. Đối tượng nghiên cứu

- Nước sau quá trình xử lý bằng phương pháp sinh hóa hiếu khí tại thực nghiệm 1
- Các thông số của quá trình xử lý bằng đất ướt trên mô hình thực nghiệm 2

3.2.2. Nội dung

Sau quá trình xử lý sinh hóa hiếu khí, nước thải vẫn còn tồn dư hàm lượng nitrat (NO_3^-) cao do đã hoàn tất giai đoạn nitrat hóa, đồng thời có thể còn dư một phần amoni (NH_4^+), để loại bỏ triệt để các dạng nitơ này và nâng cao hiệu quả xử lý, có thể áp dụng bước xử lý bậc hai thông qua mô hình đất ngập nước có trồng cây, nơi các loại thực vật thủy sinh hấp thụ trực tiếp nitơ vô cơ từ nước để tổng hợp thành chất dinh dưỡng nuôi cây, giúp giảm tải nitơ tổng mà không cần đến quá trình khử nitrat, từ đó loại bỏ hoàn toàn nitơ dưới dạng khí nitơ (N_2) thoát ra ngoài, mang lại hiệu quả xử lý cao và đảm bảo chất lượng nước đầu ra đạt tiêu chuẩn xả thải.

3.2.2.1. Thiết lập mô hình thực nghiệm theo mô hình đất ướt



Hình 3. 1. Mô hình thực nghiệm 2 trên bản vẽ

Chuẩn bị, hiệu chỉnh mô hình thực nghiệm

Chuẩn bị hiệu chỉnh tại mô hình thí nghiệm gồm:

- 2 máng sắt có kích thước mỗi máng là $D \times R \times H = 3\text{m} \times 0.4\text{m} \times 0.4\text{m}$
- Chuẩn bị lớp vật liệu lọc như: đá dăm, sỏi, cát sạn.
- 2 thùng chứa 30L, 2 thùng chứa 20L
- Chuẩn bị van và đường ống
- Sử dụng những cây bèo tây và cây dong riềng để sử dụng vào trong mô hình

Nguyên lý hoạt động

Nước sau xử lý sinh học sẽ được chứa trong thùng chứa để tiếp tục cho qua mô hình đất ướt. Tại đây cơ chế lọc diễn ra khi dòng nước thải đi qua các lớp vật liệu lọc tự nhiên gồm rễ cây, sỏi, cát, quá trình lắng cũng xảy ra vì lưu lượng thấp nên dòng nước sẽ tĩnh. Sử dụng các thảm thực vật để hấp thụ các chất dinh dưỡng nitrat thải ra khí nitơ (N_2) và giải phóng ra ngoài không khí. Quá trình này giúp loại bỏ hoàn toàn nitơ khỏi nước thải, hạn chế hiện tượng phú dưỡng khi nước thải được xả ra môi trường. Nước sau khi chảy qua mô hình đất ướt sẽ giảm đi độ đục, chất dinh dưỡng trong nước, sạch hơn và giảm đi mùi hôi.



Hình 3. 2.Thực tế của mô hình thực nghiệm 2

Tiến hành mô hình thực nghiệm đất ướt để đánh giá độ làm sạch của mô hình hướng đến tái sử dụng nước.

Thời gian bắt đầu thực hiện mô hình chính thức vào ngày 12/4/2025 đến ngày 6/5/2025.

3.2.2.1. Vận hành mô hình

Sau khi rút nước đã xử lý của mô hình sinh hóa hiếu khí sẽ được cấp vào thùng chứa nước của mô hình thực nghiệm đất ướt. Chính van sao cho nước chảy vào với lưu lượng 1l/h nhằm tăng thời gian nước lưu trong máng để cây có thể hấp thụ chất dinh dưỡng kỹ hơn và tránh cho nước xáo trộn mạnh để tăng khả năng lắng. Nước sau khi ra mô hình đất ướt sẽ tiến hành lưu mẫu rồi đi phân tích các thông số như kiềm, $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$, COD, TSS nhằm đánh giá được quá trình làm sạch. Tương tự mỗi ngày cấp vào thùng mô hình 2 lần sáng 9h00 và chiều 17h00.

Lượng nước cấp vào mô hình đất ướt: Từ ngày 12/4 đến 23/4 lượng nước cấp vào 10L/1 mẻ, còn từ ngày 24/4 đến ngày 6/4 lượng nước cấp vào 20L/1 mẻ.

Thời gian lưu nước trong máng của mẻ 1 trung bình 8,03h, thời gian lưu nước trong máng tại mẻ 2 trung bình 15,08h.

3.2.3. Phương pháp

Trong quá trình tiến hành thực nghiệm, phải thực hiện các thao tác trích mẫu, bảo quản mẫu và phân tích các thông số chất lượng nước, đánh giá sự phát triển của cây bèo tây và cây chuối nước.

Các phương pháp được sử dụng bao gồm:

- Lấy mẫu được thực hiện theo TCVN 6663-1:2011
- Bảo quản mẫu theo TCVN 6663-3:2008
- Phân tích các thông số chất lượng nước theo các TCVN được liệt kê tại bảng sau:

Bảng 3. 1. Các phương pháp phân tích các thông số chất lượng nước thải

STT	Chỉ tiêu	Phương pháp	Dụng cụ
1	pH	TCVN 6492:2011	Máy đo pH Adwa AD12 Giấy quỳ đo pH
2	Độ kiềm	TCVN 6636-1:2000	Các dụng cụ tại phòng thí nghiệm
3	TSS	TCVN 6625:2000	TB hút chân không TB sấy Heraeus T6
4	COD	TCVN 6491:1999	TB phá mẫu HACH DRB200 Máy đo quang HACH DR900
5	N-NH ₄ ⁺	TCVN 5988:1995	Bếp điện, bộ chưng cất
6	N-NO ₃ ⁻	TCVN 6180:1996	Máy đo quang Jasco V-530

Phương pháp thống kê, so sánh: các kết quả phân tích được so sánh với QCVN 11-MT:2015/BTNMT.

Trong quá trình xử lý số liệu và tính toán kết quả để đánh giá được mức độ xử lý, các công thức được sử dụng bao gồm:

- Tải trọng riêng trên đơn vị diện tích máng:

$$L_R = \frac{Q \times m_{CDD}}{S_{máng}} \times \frac{T}{24} \text{ (gCDD/m}^2 \cdot \text{ngày đêm)}$$

Trong đó: m_{CDD} : Lượng chất dinh dưỡng đưa vào hệ thống mỗi giờ (g/h)

$S_{máng}$: Diện tích máng chứa nước tại mô hình (m²)

Q: Lưu lượng nước

- Hiệu suất xử lý (E)

$$E = \frac{C_V - C_R}{C_V} \times 100$$

Trong đó: E - Hiệu suất xử lý (%)

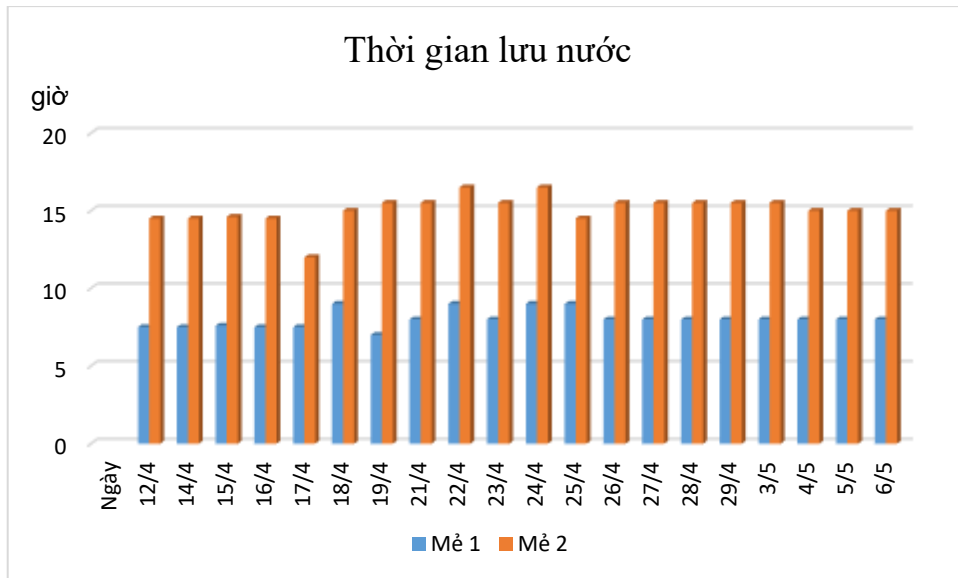
C_V - Nồng độ đầu vào bể (mg/L)

C_R - Nồng độ đầu ra bể (mg/L)

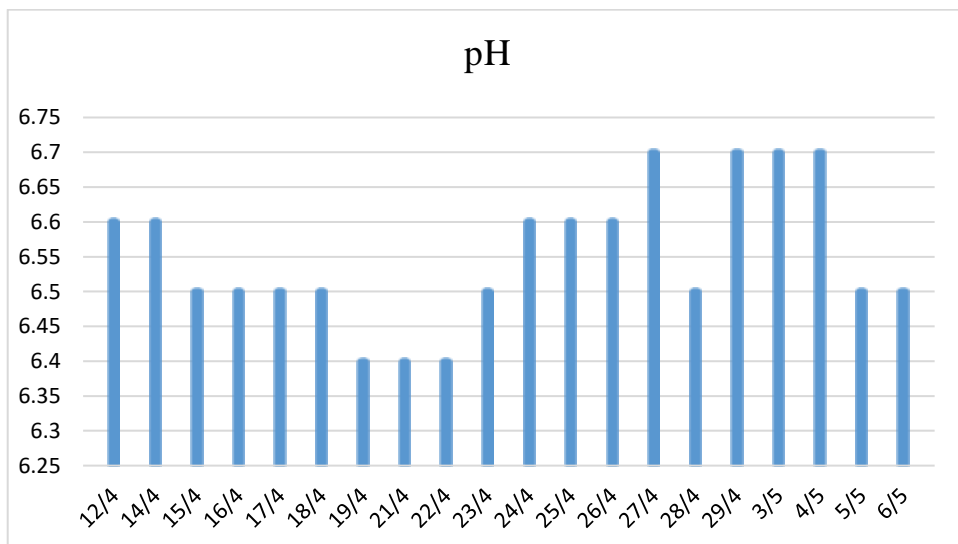
3.3. Kết quả và thảo luận

3.3.1. Điều kiện môi trường

Điều kiện môi trường của chất lượng nước sau xử lý tại mô hình đất ướt được trình bày ở **PHỤ LỤC 2**.



Hình 3. 3. Thời gian lưu nước trong mô hình của 2 bể



Hình 3. 4. Độ pH đầu ra của mô hình đất ướt

Các thông số môi trường đầu ra dao động tương đối ổn định đảm bảo điều kiện cho quá trình hấp thụ chất dinh dưỡng và chất hữu cơ từ cây



Hình 3. 5. Điều kiện thực tế tại mô hình

Thực vật thủy sinh sử dụng cây bèo tây (lục bình), bèo cám và cây dong riềng những loại cây này đều chịu ngập nước tốt và có bộ rễ phát triển mạnh tạo điều kiện để vi sinh vật phát triển. Mô hình được đặt ngoài trời nên đủ ánh sáng để cây phát triển và quang hợp, hỗ trợ quá trình hấp thụ dinh dưỡng và ôxy hóa nước thải.

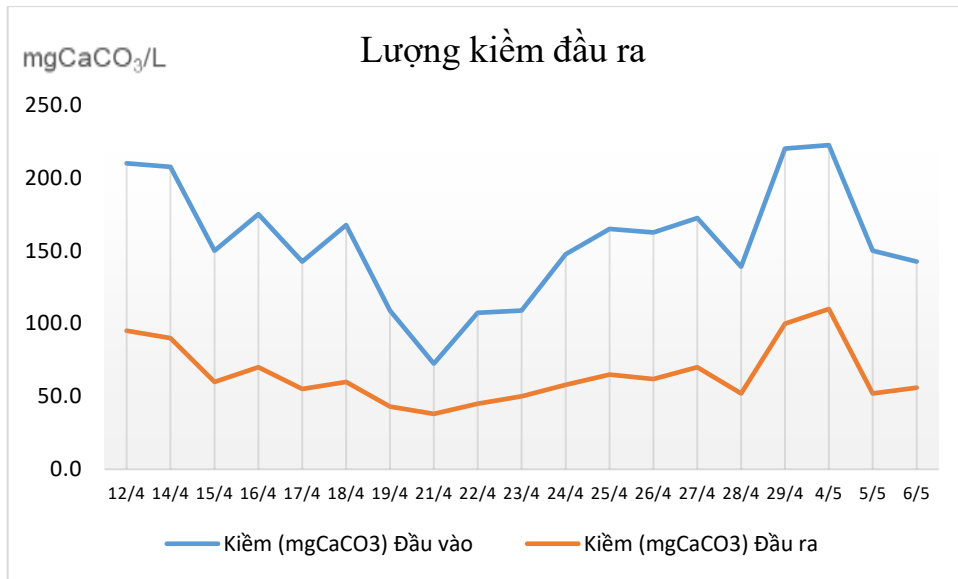
3.3.2. Kết quả nước sau xử lý của mô hình đất ướt

Nước đầu ra của 2 thùng mô hình sinh hóa hiếu khí sẽ được trộn chung lại lấy làm nước đầu vào của mô hình đất ướt.

Kết quả quá trình phân tích chất lượng nước sau xử lý của mô hình đất ướt được trình bày ở **PHỤ LỤC 2**. Kết quả phân tích cho thấy:

➤ **Độ kiềm**

Kết quả độ kiềm sau quá trình xử lý tại mô hình đất ướt được so sánh với chất lượng nước đầu vào.



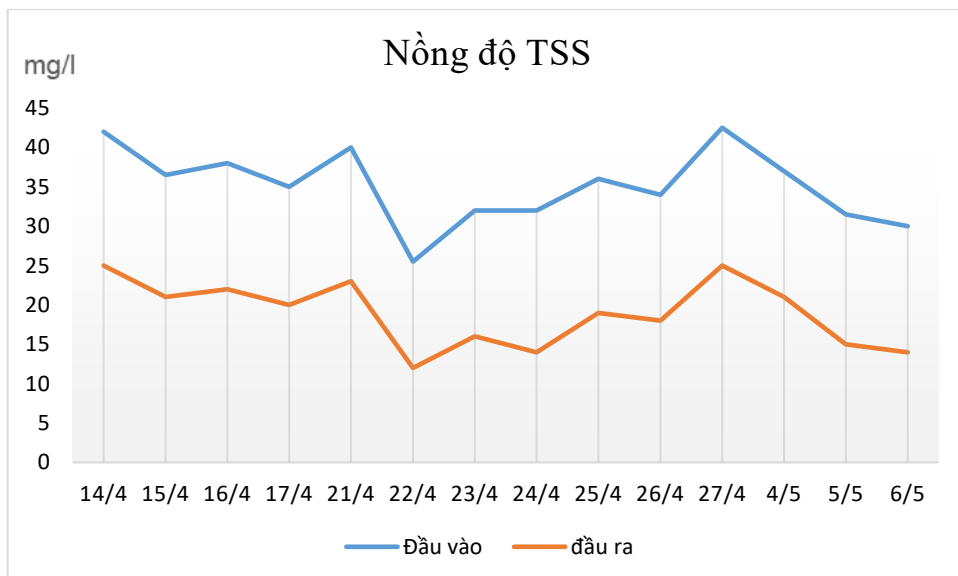
Hình 3. 6. Độ kiềm đầu vào và đầu ra của mô hình đất ướt

- Chất lượng nước đầu vào độ kiềm lần lượt nằm trong khoảng từ 72.5 ÷ 222.5 mgCaCO₃/L.

- Sau thời gian lưu nước tại mô hình, độ kiềm sau khi xử lý đều giảm lần lượt nằm trong khoảng từ 38 ÷ 110 mgCaCO₃/L

➤ **Nồng độ TSS**

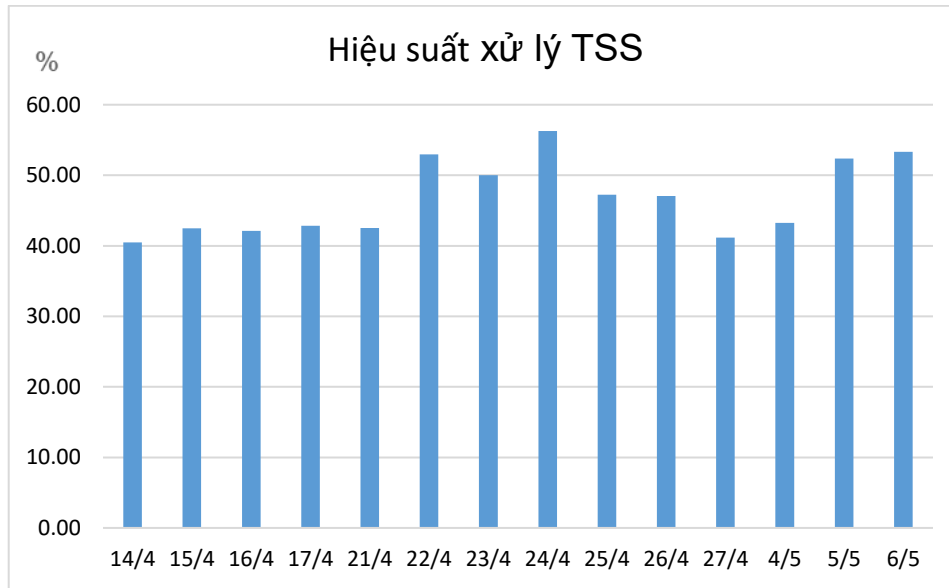
Kết quả nồng độ TSS sau quá trình xử lý tại mô hình đất ướt được so sánh với chất lượng nước đầu vào.



Hình 3. 7. Nồng độ TSS đầu vào và đầu ra mô hình đất ướt

- Chất lượng nước đầu vào nồng độ TSS lần lượt nằm trong khoảng từ 25.5 ÷ 42.5 mg/L.

- Sau thời gian lưu nước tại mô hình, nồng độ TSS sau khi xử lý đều giảm lần lượt nằm trong khoảng từ 12 ÷ 25 mg/L.

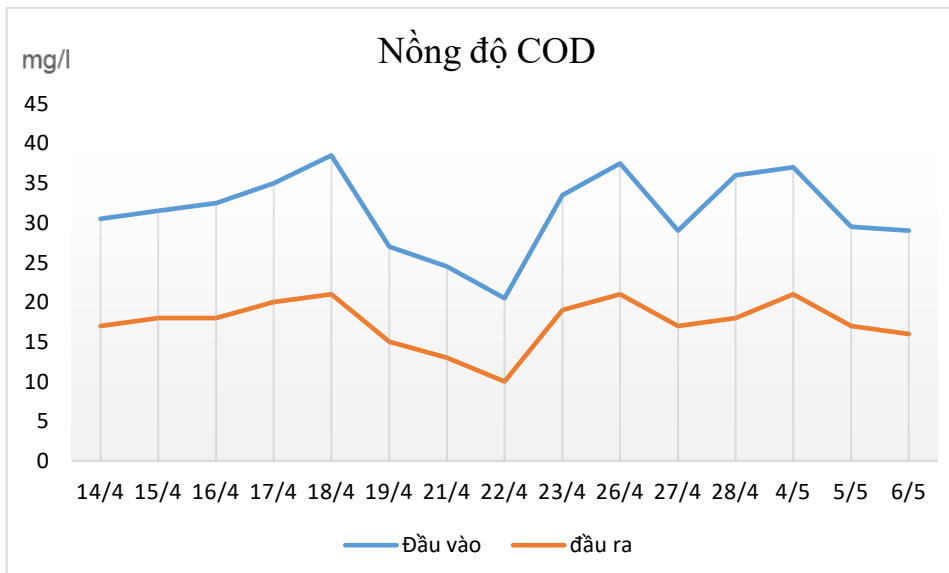


Hình 3. 8. Hiệu suất xử lý TSS

Hiệu suất xử lý chất rắn lơ lửng TSS của mô hình đất ướt đạt 40.5 ÷ 56.25% (trung bình 46.72%) so với thời điểm ban đầu (25.5 ÷ 42.5 mg/l).

➤ Nồng độ COD

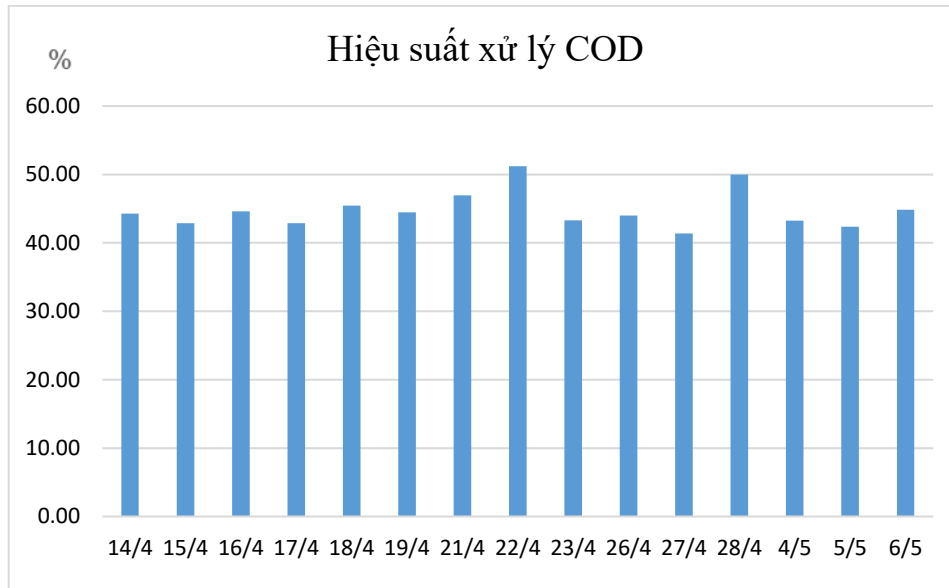
Kết quả nồng độ TSS sau quá trình xử lý tại mô hình đất ướt được so sánh với chất lượng nước đầu vào.



Hình 3. 9. Nồng độ COD đầu vào và đầu ra mô hình đất ướt

- Chất lượng nước đầu vào nồng độ COD lần lượt nằm trong khoảng từ 20.5 ÷ 38.5 mg/L.

- Sau thời gian lưu nước tại mô hình, nồng độ COD sau khi xử lý đều giảm lần lượt nằm trong khoảng từ 10 ÷ 21 mg/L.

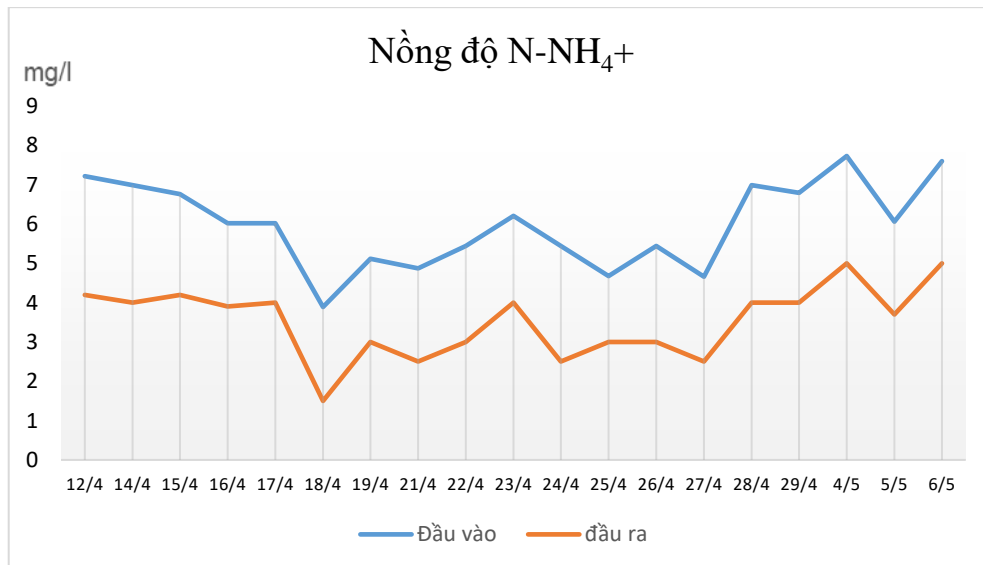


Hình 3. 10. Hiệu suất xử lý COD

Hiệu suất xử lý hàm lượng chất hữu cơ COD của mô hình đất ướt đạt 41.38 ÷ 51.22% (trung bình 44.78%) so với thời điểm ban đầu (20.5 ÷ 38.5 mg/l).

➤ Nồng độ N-NH₄⁺

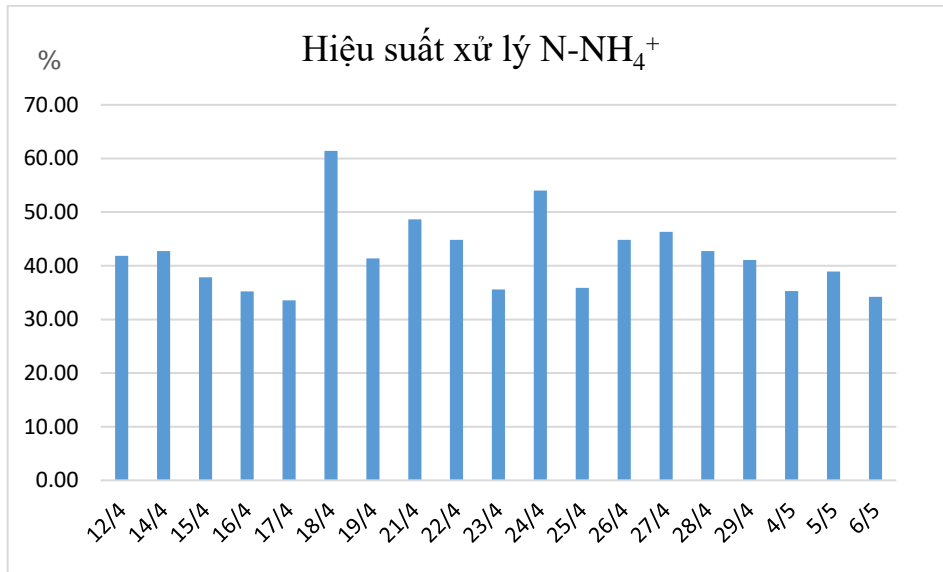
Kết quả nồng độ N-NH₄⁺ sau quá trình xử lý tại mô hình đất ướt được so sánh với chất lượng nước đầu vào.



Hình 3. 11. Nồng độ N-NH₄⁺ đầu vào và đầu ra mô hình đất ướt

- Chất lượng nước đầu vào nồng độ N-NH₄⁺ lần lượt nằm trong khoảng từ 3.9 ÷ 7.73 mg/L.

- Sau thời gian lưu nước tại mô hình, nồng độ $N-NH_4^+$ sau khi xử lý đều giảm lần lượt nằm trong khoảng từ 1.5 ÷ 5 mg/L.

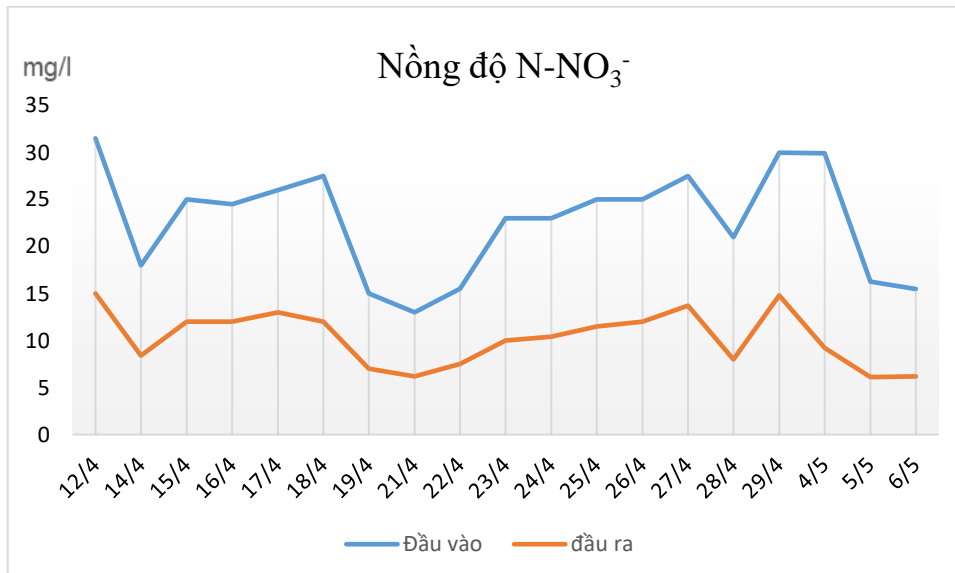


Hình 3. 12. Hiệu suất xử lý $N-NH_4^+$

Hiệu suất xử lý hàm lượng chất dinh dưỡng $N-NH_4^+$ của mô hình đất ướt đạt 33.55 ÷ 48.67% (trung bình 41.93%) so với thời điểm ban đầu (3.9 ÷ 7.73 mg/l).

➤ Nồng độ $N-NO_3^-$

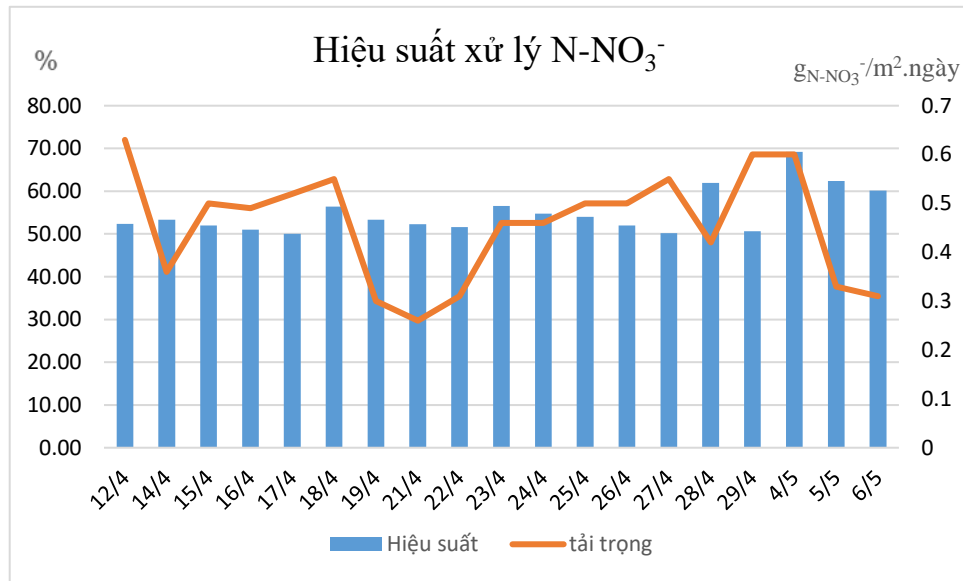
Kết quả nồng độ $N-NO_3^-$ sau quá trình xử lý tại mô hình đất ướt được so sánh với chất lượng nước đầu vào.



Hình 3. 13. Nồng độ $N-NO_3^-$ đầu vào và đầu ra mô hình đất ướt

- Chất lượng nước đầu vào nồng độ $N-NO_3^-$ lần lượt nằm trong khoảng từ 13 ÷ 31.5 mg/L.

- Sau thời gian lưu nước tại mô hình, nồng độ $N-NO_3^-$ sau khi xử lý đều giảm lần lượt nằm trong khoảng từ $6.2 \div 15$ mg/L.



Hình 3. 14. Hiệu suất xử lý $N-NO_3^-$

Hiệu suất xử lý hàm lượng chất dinh dưỡng $N-NO_3^-$ của mô hình đất ướt đạt $50 \div 69.16\%$ (trung bình 54.95%) so với thời điểm ban đầu ($13 \div 31.5$ mg/l). Với tải trọng nằm trong khoảng từ $0.26 \div 0.63$ $g_{N-NO_3^-}/m^2.ngày$

3.3.3. Kết luận

Theo kết quả nghiên cứu loại bỏ chất hữu cơ và chất dinh dưỡng còn dư của quá trình sinh hóa hiếu khí bằng mô hình thực nghiệm đất ướt, cho thấy:

- Nồng độ chất hữu cơ theo COD và nồng độ chất dinh dưỡng theo $N-NH_4^+$, $N-NO_3^-$. Sau khi nước đã được xử lý bằng mô hình đất ướt các nồng độ có giảm so với chất lượng nước đầu vào.
 - + Hiệu suất xử lý COD đạt từ 41.38 đến 51.22% (trung bình đạt 44.78%)
 - + Hiệu suất xử lý $N-NH_4^+$ đạt từ 33.55 đến 48.67% (trung bình đạt 41.93%)
 - + Hiệu suất xử lý $N-NO_3^-$ đạt từ 50 đến 69.16% (trung bình đạt 54.95%)
- Nồng độ chất rắn lơ lửng TSS cũng có giảm sau khi được xử lý bằng hệ thống đất ướt, cụ thể hiệu suất xử lý đạt từ 40.6 đến 56.25% (trung bình đạt 46.72%). Nước sau khi chảy ra mô hình độ trong tương đối cao và không còn mùi hôi.



Hình 3. 15. Hình ảnh thực tế nước sau khi ra mô hình đất ướt

- Khi vận hành mô hình đất ướt cũng có nhiều hạn chế bất lợi như thời tiết cũng có thể ảnh hưởng đến kết quả phân tích, vì không được rào lưới nên những cây thủy sinh trong mô hình bị những cơn ẽnh ương và nóng nọc tác động tiêu cực đến cây dẫn đến mô hình không hoạt động được hiệu quả.

3.3.4. Đề xuất tái sử dụng nước

Nước sau khi xử lý bằng mô hình công nghệ đất ướt so sánh với QCVN 08:2023/BTNMT để tiến hành đánh giá mức độ có thể tái sử dụng. Kết quả theo các thông số chất lượng nước sau khi xử lý bằng mô hình đất ướt cho thấy nước đạt mục D của QCVN 08-MT:2023/BTNMT, nước đạt mục D sẽ không phù hợp cho sinh hoạt, tưới cây ăn trái,... mà chỉ có thể tái sử dụng cho các mục đích không yêu cầu quá chất lượng nước cao như tưới cây cảnh, rửa đường, rửa sàn nhà xưởng, bổ xung nước cho hồ cảnh quan,...

Minh chứng cho thấy nước sau xử lý bằng mô hình đất ướt có thể giúp cây phát triển tốt đó là cây dong riềng khi mới bắt đầu trồng có chiều cao tương đối thấp chỉ 35cm tính từ gốc tới bẹ lá, sau gần 1 tháng vận hành mô hình đất ướt thì cây dong riềng đã sinh trưởng và phát triển mạnh tới 74cm tính từ gốc tới bẹ lá. Nhờ hấp thụ chất dinh dưỡng trong nước thải, vì vậy có thể áp dụng việc tái sử dụng nước sau xử lý bằng mô hình đất ướt có thể sử dụng để tưới cây cảnh hoặc làm đầy nước cho hồ cảnh quan.



Hình 3. 16. Cây lúc bắt đầu vận hành mô hình



Hình 3. 17. Đo chiều cao của cây sau 1 tháng vận hành

✚ Đề xuất áp dụng mô hình đất ướt

Theo vận hành mô hình thực nghiệm, chất lượng nước sau khi xử lý bằng mô hình đất ướt đạt mục D thuộc QCVN 08-MT:2023-BTNMT thì có thể dùng để rửa thiết bị tại nhà máy, rửa đường, tưới cây cảnh,... Đề xuất áp dụng mô hình thực nghiệm đất ướt vào hệ thống xử lý nước thải của những nhà máy chế biến thủy sản có công suất nhỏ khoảng 5-10m³/ngày. Vừa giúp xử lý thêm 1 bậc, vừa giúp tái tạo cảnh quan cho nhà máy. Cũng có thể áp dụng mô hình đất ướt tại các khu chợ ở quê có quy mô nhỏ, vừa giúp xử lý nước thải từ chợ vừa tạo cảnh quan cho khu vực.



Hình 3. 18. Minh họa về mô hình đất ướt tại Nepal 2008 [7]

Hệ thống mô hình đất ướt này tận dụng thực vật thủy sinh và vi sinh vật để loại bỏ các chất ô nhiễm, có ưu điểm là chi phí vận hành thấp, hiệu quả trong việc xử lý chất

dinh dưỡng và chất hữu cơ tại nhà máy chế biến thủy sản, đồng thời tạo cảnh quan xanh mát. Có nhược điểm là tốc độ xử lý chậm nên dẫn đến diện tích xử lý nước thải phải lớn. Nếu nhà máy có công suất khoảng từ 5-10m³ thì phải cần diện tích cho mô hình đất ướt khoảng từ 188 – 375m² diện tích đất cho mô hình đất ướt.

KẾT LUẬN

Trước tình trạng ô nhiễm môi trường nước và nhu cầu tái sử dụng nước ngày càng cao, trong ngành chế biến thủy sản với đặc thù phát sinh lượng lớn nước thải giàu chất hữu cơ và chất dinh dưỡng, việc ứng dụng mô hình thực nghiệm xử lý sinh học đạt cột A theo QCVN 11-MT:2015/BTNMT và áp dụng mô hình thực nghiệm bằng công nghệ đất ngập nước nhân tạo (Constructed Wetland – CW) như một bước xử lý bậc ba đã cho thấy tiềm năng rõ rệt. Kết quả thực nghiệm cho thấy, nước sau xử lý bằng mô hình đất ướt đạt mục D theo QCVN 08-MT:2023/BTNMT, tức có thể được tái sử dụng cho các mục đích không đòi hỏi chất lượng nước cao như: tưới cây cảnh, rửa sàn nhà xưởng, rửa đường, bổ sung nước hồ cảnh quan, hoặc vệ sinh thiết bị trong nhà máy.

Mặc dù chất lượng nước đầu ra chưa đáp ứng được yêu cầu cho các mục đích tưới cây ăn trái hoặc sinh hoạt, mô hình vẫn đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao hiệu quả xử lý nước thải sau giai đoạn sinh học, góp phần giảm thiểu ô nhiễm và tiết kiệm tài nguyên nước.

Từ các kết quả đạt được, đề tài đề xuất áp dụng mô hình đất ngập nước cho các nhà máy chế biến thủy sản có công suất xử lý nước thải nhỏ. Đây là giải pháp phù hợp về mặt kỹ thuật, kinh tế và môi trường. Ngoài ra, mô hình cũng có thể được triển khai tại các khu chợ nông thôn quy mô nhỏ, vừa phục vụ xử lý nước thải, vừa góp phần cải thiện cảnh quan đô thị và môi trường sống.

Nghiên cứu này góp phần khẳng định tiềm năng ứng dụng của công nghệ đất ngập nước trong xử lý và tái sử dụng nước thải tại Việt Nam, đặc biệt là trong bối cảnh tài nguyên nước đang chịu nhiều áp lực từ biến đổi khí hậu và phát triển công nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Hiếu Nhuệ (2001), Thoát nước và xử lý nước thải công nghiệp, NXB Khoa học và kỹ thuật
- [2] GS.TS. Lâm Minh Triết - GS. TS. Trần Hữu Nhuệ, Xử lý nước thải, Tập 1, NXB Xây dựng
- [3] Carlos Augusto de Lemos Chernicharo, Inc 4, Biological Wastewater Treatment Series – Volume Four, Anaerobic Reactors
- [4] Marcos von Sperling, Inc 5, Biological Wastewater Treatment Series – Volume Five
- [5] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), A Handbook of Constructed Wetlands – Volume 1: General Considerations
- [6] TCVN 7957:2008, tiêu chuẩn quốc gia thoát nước – mạng lưới và công trình bên ngoài – tiêu chuẩn thiết kế.
- [7] Constructed Wetlands Manual, UN-HABITAT, 2008.
- [8] Lê Anh Tuấn, Lê Hoàng Việt và Guido Wyseure, đất ngập nước kiến tạo, 2009
- [9] QCVN 11-MT:2015/BTNMT: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước thải chế biến thủy sản
- [10] Biological nutrient removal revised 6th edition

PHỤ LỤC