

Tạp chí

ISSN 1859 - 3771

TÀI NGUYÊN NƯỚC

WATER RESOURCES JOURNAL

NƯỚC CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM MUÔN NĂM!



HỘI THỦY LỢI VIỆT NAM
VIETNAM WATER RESOURCES ASSOCIATION

Số 03
9-2025

Tạp chí TÀI NGUYÊN NƯỚC

HỘI THỦY LỢI VIỆT NAM

TẠP CHÍ RA 03 THÁNG MỘT KỲ

SỐ 03 NĂM 2025

ISSN 1859 - 3771

PHÓ TỔNG BIÊN TẬP PHỤ TRÁCH
PGS.TS HOÀNG THÁI ĐẠI

PHÓ TỔNG BIÊN TẬP
PGS.TS TRẦN CHÍ TRUNG

HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP

Chủ tịch Hội đồng:
GS.TS ĐÀO XUÂN HỌC

Thư ký Hội đồng:
PGS.TS NGUYỄN TUẤN ANH

Ủy viên Hội đồng:
GS.TS. VŨ TRỌNG HỒNG;
GS.TS. NGUYỄN TUẤN ANH;
GS.TS. NGUYỄN QUỐC DŨNG
PGS.TS. HOÀNG THÁI ĐẠI;
TS. TRẦN VĂN ĐẠT
TS. BÙI QUANG NHUNG;
PGS.TS. HÀ LƯƠNG THUẬN;
GS.TS. NGUYỄN VĂN TỈNH;
PGS.TS. TRẦN CHÍ TRUNG
PGS.TS. NGUYỄN VĂN TUẤN

Trình bày:
VĂN LINH

TÒA SOẠN:

Nhà số 4, số 175 Tây Sơn, quận Đống Đa, Hà Nội
ĐT, FAX: 024.35641538
ĐD: 0986988379 - 0915166435
E-mail: tapchitnn@vwrn.vn

* Giấy phép xuất bản số:
257/GP-BTTTT ngày 16/9/2024

* In 300 cuốn, khổ 20,5 x 29 cm
tại Công ty TNHH In và Thương mại Mê Linh
Trần Quý Cáp - Hà Nội

* TK: 0541000208189 Ngân hàng Ngoại thương
Việt Nam

MỤC LỤC

Trang

❖ QUẢN LÝ

1. Báo cáo kỷ niệm 80 năm ngày truyền thống ngành Thủy lợi Việt Nam (28/08/1945 - 28/08/2025) 3

Đào Xuân Học

2. Giới thiệu cuốn sách Lịch sử Thủy lợi Việt Nam 7

Đào Xuân Học

❖ KHOA HỌC CÔNG NGHỆ

3. Đánh giá hiệu quả và ứng dụng hệ thống robot tự hành tích hợp cảm biến IoT trong quan trắc môi trường nước nuôi trồng thủy sản 9

**Đỗ Thị Diễm My, Đặng Trường An,
Vũ Trọng Bách, Trần Tuấn Hoàng**

4. So sánh hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt của hai loại bể lọc sinh học giá thể cố định dòng chảy ngược và dòng chảy xuôi tại các chung cư ở Bình Dương 17

Trần Thái Hà, Đỗ Đức Đăng Khoa, Đỗ Quang Lĩnh

5. Ước lượng chiều cao sóng bằng kỹ thuật thị giác máy ảnh 24

Trần Hải Yến, Nguyễn Nhựt Nhứt

6. Nghiên cứu chế độ tưới nhỏ giọt cho cây mắc ca cho khu vực miền núi phía Bắc, có xét đến điều kiện hạn hán 32

**Trần Hùng, Nguyễn Gia Vương, Nguyễn Xuân Kiều,
Lê Thị Thanh Vân, Nguyễn Thị Linh**

7. Mô hình quản trị vận hành dự án chuyển đổi thủy điện nhỏ sang cấp nước tại vùng miền núi phía Bắc 41

Nguyễn Hồng Trường, Đỗ Ngọc Ánh

❖ THÔNG TIN TƯ LIỆU

8. Mô hình tích hợp quản lý nước và tưới tiêu hiệu quả cao của Israel 52

**Ban biên tập Tạp chí Tài nguyên nước -
Hội Thủy lợi Việt Nam**

9. Các mô hình hiện đại trong quản lý hệ thống liên hồ chứa ở Hoa Kỳ: Phân tích chuyên sâu về công nghệ, chính sách và thực tiễn 58

**Ban biên tập Tạp chí Tài nguyên nước -
Hội Thủy lợi Việt Nam**

10. Mô hình hiện đại trong quản lý tài nguyên nước vùng ven biển nước Úc: Phân tích toàn diện về khung chính sách, ứng dụng công nghệ và bài học kinh nghiệm 70

**Ban biên tập Tạp chí Tài nguyên nước -
Hội Thủy lợi Việt Nam**

11. Quy trình nhận, phản biện và đăng bài trên Tạp chí Tài nguyên nước 79

Tạp chí Tài nguyên nước

Ảnh bìa 1: Lễ kỷ niệm 80 năm ngày truyền thống ngành thủy lợi Việt Nam

(Ảnh do ông Vũ Duy Hoàng - Hội đập lớn và Phát triển nguồn nước Việt Nam cung cấp)

**Tạp chí TÀI NGUYÊN NƯỚC - được xuất bản với sự cộng tác của
Hội Đập lớn và Phát triển nguồn nước Việt Nam, Hội Tưới tiêu Việt Nam**

SO SÁNH HIỆU QUẢ XỬ LÝ NƯỚC THẢI SINH HOẠT CỦA HAI LOẠI BỂ LỌC SINH HỌC GIÁ THỂ CỐ ĐỊNH DÒNG CHẢY NGƯỢC VÀ DÒNG CHẢY XUÔI TẠI CÁC CHUNG CƯ Ở BÌNH DƯƠNG

Trần Thái Hà¹, Đỗ Đức Đăng Khoa¹,
Đỗ Quang Lĩnh²

Tóm tắt: Nghiên cứu này thực hiện so sánh hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt giữa hai mô hình bể lọc sinh học giá thể cố định (Biofilter): dòng chảy ngược (Up-flow) và dòng chảy xuôi (Down-flow). Hai mô hình được vận hành song song trong điều kiện tương đương để đánh giá khả năng loại bỏ các chất ô nhiễm chính như nhu cầu oxy hóa học (COD), nhu cầu oxy sinh hóa (BOD), tổng chất rắn lơ lửng (TSS), Amoni, Nitrat, độ đục và độ màu. Kết quả cho thấy cả hai mô hình đều xử lý nước thải đầu ra đạt Quy chuẩn Việt Nam QCVN 14:2008/BTNMT. Tuy nhiên, phân tích thống kê (T-test) cho thấy bể lọc dòng chảy ngược có hiệu quả xử lý TSS, Nitrat và độ đục vượt trội một cách có ý nghĩa so với bể dòng chảy xuôi. Về mặt kinh tế, mô hình dòng chảy ngược cũng cho thấy ưu thế do không yêu cầu xây dựng bể lắng thứ cấp, giúp tiết kiệm chi phí đầu tư. Nghiên cứu cung cấp dữ liệu khoa học quan trọng, đề xuất bể lọc sinh học giá thể cố định dòng chảy ngược là một giải pháp công nghệ hiệu quả và kinh tế cho việc xử lý nước thải tại các tòa nhà chung cư ở các đô thị đang phát triển nhanh như Bình Dương.

Từ khóa: Nước thải sinh hoạt, Bể sinh học giá thể cố định, Biofilter, Dòng chảy ngược, Dòng chảy xuôi, QCVN 14:2008/BTNMT.

1. GIỚI THIỆU

Quá trình đô thị hóa và công nghiệp hóa đang diễn ra với tốc độ nhanh chóng tại nhiều địa phương ở Việt Nam, đặc biệt là tại tỉnh Bình Dương, một trong những trung tâm công nghiệp hàng đầu của cả nước. Sự phát triển này kéo theo sự gia tăng dân số, sự hình thành các khu dân cư và các tòa nhà chung cư cao tầng, từ đó phát sinh một lượng lớn nước thải sinh hoạt hàng ngày. Theo các thống kê, năng lực xử lý nước thải tại các đô thị ở Việt Nam còn rất hạn chế, với khoảng 80% đến 90% lượng nước thải bị xả thẳng ra môi trường mà không qua xử lý hoặc xử lý không đạt chuẩn. Tình trạng này đang gây ra những vấn đề nghiêm trọng về ô nhiễm nguồn nước mặt, phá hủy hệ sinh thái thủy sinh và ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe cộng đồng.

Nước thải sinh hoạt từ các chung cư có đặc trưng là chứa hàm lượng lớn các chất hữu cơ dễ

phân hủy sinh học, các chất dinh dưỡng như Nitơ, Phốt pho và các chất rắn lơ lửng. Do đó, các phương pháp xử lý sinh học được xem là lựa chọn phù hợp và hiệu quả. Trong số các công nghệ xử lý sinh học, bể lọc sinh học giá thể cố định (Biofilter) đang nổi lên như một giải pháp tối ưu nhờ những ưu điểm vượt trội: hiệu quả xử lý cao, chi phí đầu tư và vận hành hợp lý, ít tốn diện tích và quy trình vận hành đơn giản. Công nghệ này dựa trên nguyên lý sử dụng các vi sinh vật dính bám trên bề mặt vật liệu giá thể để phân hủy các chất ô nhiễm trong nước thải [3]. Quá trình này có khả năng oxy hóa các chất hữu cơ, đồng thời thực hiện quá trình nitrat hóa và khử nitrat, giúp loại bỏ hiệu quả Nitơ ra khỏi nước thải.

Hiện nay, có hai cấu hình chính của bể lọc sinh học giá thể cố định hiệu khí được ứng dụng phổ biến ([5] và [6]) là: bể lọc có dòng chảy từ trên xuống (Down-flow Biofilter) và bể lọc có dòng chảy từ dưới lên (Up-flow Biofilter). Mỗi loại có những đặc điểm riêng về thủy động lực học, khả năng lưu giữ bùn và hiệu quả xử lý.

¹Khoa Công nghệ Sinh học, Đại học Mở TP. HCM

²Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG TP.HCM

Tuy nhiên, việc lựa chọn công nghệ nào hiệu quả hơn và kinh tế hơn cho điều kiện cụ thể của các chung cư tại Việt Nam vẫn cần những nghiên cứu thực nghiệm chi tiết để so sánh và đánh giá.

Vì vậy, nội dung “Nghiên cứu so sánh hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt từ tòa nhà chung cư bằng phương pháp bể phản ứng sinh học giá thể cố định dòng chảy xuôi và bể phản ứng sinh học giá thể cố định dòng chảy ngược” được thực hiện. Mục tiêu của nghiên cứu là xây dựng và vận hành hai mô hình thí nghiệm song song, đánh giá và so sánh hiệu quả xử lý các chỉ tiêu ô nhiễm chính (BOD, COD, TSS, Amoni, Nitrat) của hai loại bể, từ đó đưa ra những kết luận khoa học và đề xuất thực tiễn. Kết quả của nghiên cứu sẽ là cơ sở khoa học quan trọng giúp

các nhà quản lý, chủ đầu tư lựa chọn công nghệ xử lý nước thải phù hợp, hiệu quả và bền vững cho các dự án chung cư, góp phần giải quyết vấn đề ô nhiễm môi trường nước tại các đô thị.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguồn nước thải và vật liệu nghiên cứu

Nước thải sinh hoạt: Mẫu nước thải được sử dụng trong nghiên cứu được lấy định kỳ hàng ngày vào khung giờ 17:00 – 17:30 tại bể điều hòa của chung cư Citadines Central, tỉnh Bình Dương. Nước thải tại đây đã qua xử lý sơ bộ (lọc rác, tách dầu mỡ) và được ổn định về lưu lượng và nồng độ, do đó có tính đại diện cao cho nước thải sinh hoạt điển hình từ các tòa nhà chung cư. Các đặc tính ban đầu của nước thải đầu vào được phân tích và ghi nhận trong Bảng 1.

Bảng 1: Đặc tính nước thải sinh hoạt đầu vào tại địa điểm nghiên cứu

STT	Chỉ tiêu	Khoảng giá trị	Đơn vị	QCVN 14:2008/BTNMT (Cột B)
1	pH	7 - 8	-	5 - 9
2	BOD	160 – 255	mg/L	50
3	COD	302 - 448	mg/L	-
4	TSS	120 - 200	mg/L	100
5	Amoni (tính theo N)	40 - 57	mg/L	10
6	Tổng Nitơ	65 - 85	mg/L	-
7	Độ đục	40 - 50	FTU	-
8	Độ màu	400 - 570	PCU	-

Dựa trên các chỉ số này, nước thải đầu vào có mức độ ô nhiễm hữu cơ (BOD, COD) ở mức trung bình, nồng độ Amoni và TSS cao hơn so với giới hạn cho phép của QCVN 14:2008/BTNMT (Cột B), cho thấy sự cần thiết phải xử lý trước khi xả thải.

Bùn hoạt tính: Bùn hoạt tính được lấy từ hệ thống xử lý nước thải hiện hữu của chính tòa nhà chung cư Citadines Central. Bùn ban đầu có nồng độ 5000 - 7000 mg/L và chỉ số lắng SV30 là 83%. Sau khi đưa về phòng thí nghiệm, bùn được bảo quản trong điều kiện sục khí liên tục và được châm thêm nước thải để duy trì hoạt tính của vi sinh vật.

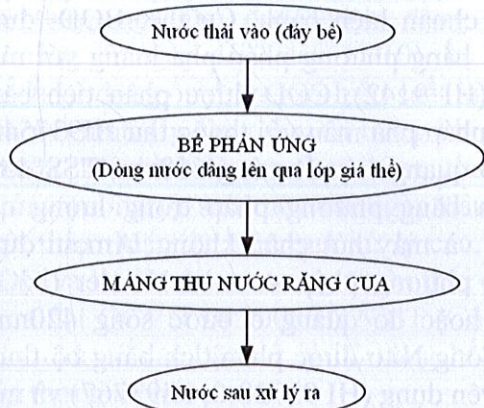
Giá thể cố định: Nghiên cứu sử dụng giá thể vi sinh dạng nhựa MBBR (Moving Bed

Biofilm Reactor) có hình dạng bánh xe, cấu trúc bên trong dạng tổ ong và bề mặt có rãnh cưa để tăng diện tích tiếp xúc. Thông số kỹ thuật của giá thể: diện tích tiếp xúc > 500 m²/m³, kích thước 25x10 mm, vật liệu nhựa HDPE, màu đen.

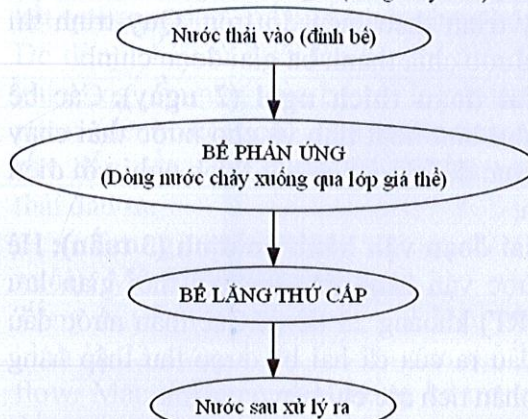
2.2. Thiết kế và bố trí mô hình thí nghiệm

Nghiên cứu được thực hiện tại phòng thí nghiệm Hóa – Môi trường, trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh (Cơ sở Bình Dương) từ ngày 29/09/2023 đến 01/11/2023. Hai mô hình bể phản ứng sinh học giá thể cố định được thiết kế và vận hành song song: mô hình dòng chảy ngược (Up-flow Biofilter) và mô hình dòng chảy xuôi (Down-flow Biofilter) như hình bên dưới.

Mô hình 1: Up-flow Biofilter (Dòng chảy ngược)



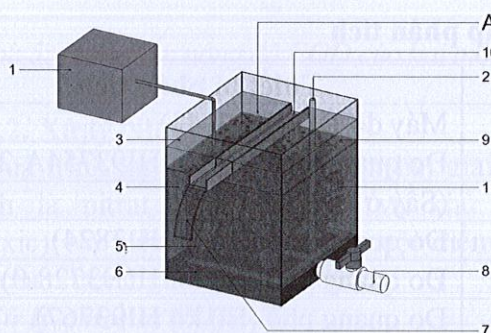
Mô hình 2: Down-flow Biofilter (Dòng chảy xuôi)



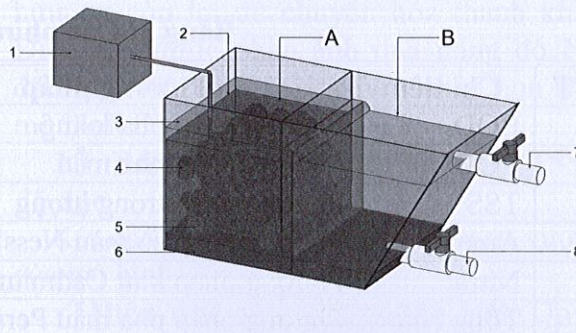
Hình 1: Sơ đồ bố trí mô hình thí nghiệm

Cả hai bể được thiết kế bằng kính với cùng kích thước (dài x rộng x cao) là 20cm x 20cm x 12.5cm, với chiều cao lớp giá thể là 10cm và công suất xử lý 10 lít/ngày. Mô hình dòng chảy ngược được thiết kế với máng thu nước răng cưa ở đầu ra và không cần bể lắng thứ cấp do cơ chế vận hành

giúp giữ lại các bông cặn sinh học. Ngược lại, mô hình dòng chảy xuôi được bố trí thêm một bể lắng thứ cấp bằng kính (20cm x 10cm x 10cm) để loại bỏ sinh khối bong ra theo dòng nước. Cả hai hệ thống đều được cung cấp khí liên tục từ máy thổi khí để đảm bảo điều kiện hiếu khí.

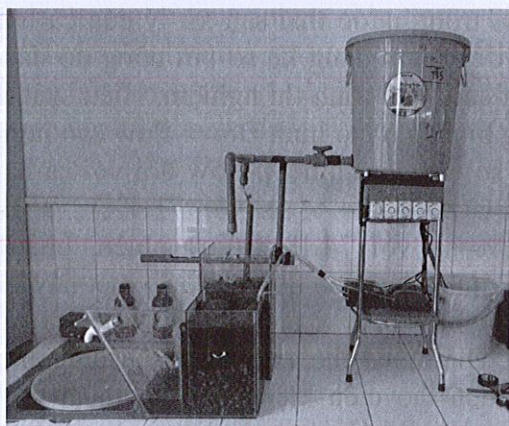


Dòng chảy ngược – Up flow Biofilter



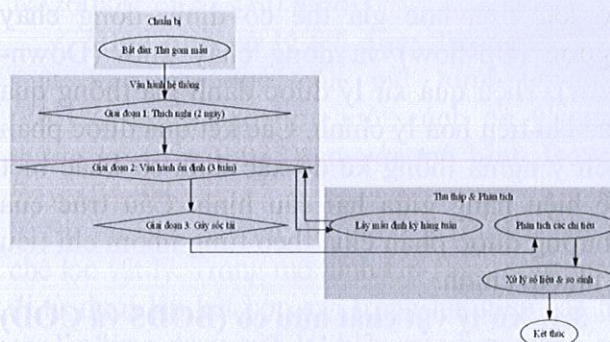
Dòng chảy xuôi – Down flow Biofilter

Hình 2: Mô hình bể xử lý nước thải sinh hoạt giá thể cố định đặt ngập trong nước



Hình 3: Mô hình bể trong thực tế

2.3. Vận hành thí nghiệm



Hình 4: Quy trình vận hành thí nghiệm

Việc vận hành thí nghiệm được thực hiện theo quy trình theo biểu đồ trên. Quy trình thí nghiệm được chia thành ba giai đoạn chính.

✓ **Giai đoạn thích nghi (2 ngày):** Các bể được châm bùn hoạt tính và cho nước thải chảy vào liên tục để hệ vi sinh vật thích nghi với điều kiện mới.

✓ **Giai đoạn vận hành ổn định (3 tuần):** Hệ thống được vận hành liên tục với thời gian lưu nước (HRT) khoảng 23 tiếng. Các mẫu nước đầu vào và đầu ra của cả hai bể được thu thập hàng tuần để phân tích các chỉ tiêu ô nhiễm.

✓ **Giai đoạn sốc tải (thực hiện vào cuối giai đoạn vận hành):** Hóa chất tẩy rửa được bổ sung vào nước thải đầu vào với nồng độ 0,0025 ml/L (50ml nước tẩy/20L nước thải) để đánh giá khả năng chống chịu và phục hồi của hệ vi sinh vật trong cả hai mô hình [1].

Phương pháp phân tích và xử lý số liệu

Hiệu quả xử lý của hai mô hình được đánh giá dựa trên các chỉ tiêu: BOD₅, COD, TSS, Amoni, Nitrat, Tổng Nitơ (TN), độ đục và độ

màu. Các phương pháp phân tích tuân thủ theo các tiêu chuẩn hiện hành. Cụ thể: BOD₅ được xác định bằng phương pháp pha loãng với máy đo DO (HI 9142); COD được phân tích bằng phương pháp phá mẫu với thuốc thử HI93754A-25 và đo quang ở bước sóng 610nm; TSS được xác định bằng phương pháp trọng lượng qua giấy lọc và máy hút chân không; Amoni được đo bằng phương pháp so màu Nessler (bộ kit HI3824 hoặc đo quang ở bước sóng 420nm); Nitrat, Tổng Nitơ được phân tích bằng bộ thuốc thử chuyên dụng (HI 93728-0, HI93767) và máy đo quang phổ; Độ đục được đo bằng máy HI93703.

Toàn bộ số liệu thu thập được quản lý bằng phần mềm Microsoft Excel. Phép kiểm định T-test bắt cặp (Paired T-test) được thực hiện trên phần mềm SPSS để so sánh sự khác biệt về hiệu quả xử lý giữa hai mô hình. Hiệu suất xử lý (%) của mỗi chỉ tiêu được tính toán theo công thức: $(\text{Nồng độ đầu vào} - \text{Nồng độ đầu ra}) / \text{Nồng độ đầu vào} \times 100$.

Bảng 2: Các phương pháp phân tích

STT	Chỉ tiêu	Phương pháp	Thiết bị phân tích
1	BOD ₅	Phương pháp pha loãng	Máy đo DO (HI 9142)
2	COD	Phương pháp phá mẫu	Đo quang phổ (Bộ kit HI93754A-25)
3	TSS	Phương pháp trọng lượng	(Sấy ở 103-105°C)
4	Amoni	Phương pháp so màu Nessler	Đo quang phổ (Bộ kit HI3824)
5	Nitrat	Phương pháp khử Cadmium	Đo quang phổ (Bộ kit HI 93728-0)
6	Tổng Nitơ	Phương pháp phá mẫu Persulfate	Đo quang phổ (Bộ kit HI93767)
7	Độ đục	Máy đo độ đục	(HI93703)

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Kết quả trình bày và phân tích so sánh hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt của hai mô hình bể lọc sinh học giá thể cố định: dòng chảy ngược (Up-flow) và dòng chảy xuôi (Down-flow). Hiệu quả xử lý được đánh giá thông qua các chỉ tiêu hóa lý chính. Các kết quả được phân tích ý nghĩa thống kê để xác định sự khác biệt về hiệu năng giữa hai cấu hình. Cấu trúc của chương được phân chia theo từng nhóm chỉ tiêu ô nhiễm chính.

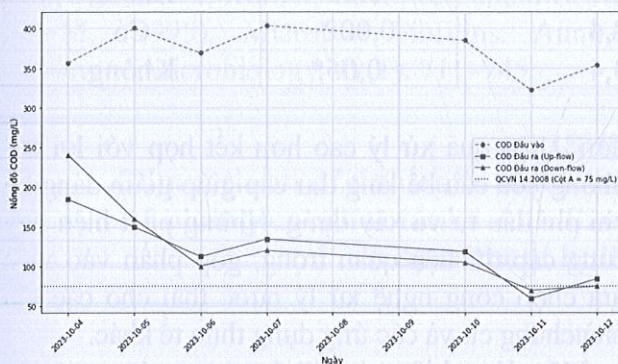
3.1. Xử lý vật chất hữu cơ (BOD₅ và COD)

Hiệu quả loại bỏ chất hữu cơ là chỉ số cốt lõi để đánh giá hoạt động của vi sinh vật dị dưỡng

hiếu khí trong bể lọc [1]. Nồng độ COD và BOD₅ trong nước thải sau xử lý của cả hai mô hình đều giảm đáng kể so với nồng độ đầu vào trong suốt quá trình thí nghiệm. Hiệu suất xử lý trung bình của mô hình Down-flow cao hơn một chút so với mô hình Up-flow đối với cả hai chỉ tiêu: COD (76.4% so với 71.4%) và BOD₅ (78.1% so với 74.1%). Tuy nhiên, phân tích kiểm định t-test cho thấy sự khác biệt này không có ý nghĩa thống kê ($p > 0.05$ đối với cả hai chỉ tiêu). Điều này cho thấy cả hai cấu hình dòng chảy đều tạo điều kiện hiếu khí thuận lợi cho quá trình oxy hóa các hợp chất cacbon.

Hình 3 minh họa diễn biến nồng độ COD đầu

vào và đầu ra theo thời gian của hai mô hình. Có thể thấy, sau giai đoạn khởi động ban đầu (khoảng từ ngày 4/10 đến 11/10), hệ thống đi vào hoạt động ổn định, với hiệu suất xử lý COD của mô hình Up-flow duy trì trong khoảng 76% - 86%. Mô hình Down-flow cũng cho thấy xu hướng tương tự sau một vài ngày đầu có hiệu suất thấp. Mặc dù hiệu quả xử lý cao, nồng độ COD và BOD₅ đầu ra trong nhiều thời điểm vẫn chưa đạt QCVN 14:2008/BTNMT (Cột A), cho thấy cần có các bậc xử lý bổ sung hoặc tối ưu hóa thời gian lưu nước.



Hình 5: Diễn biến nồng độ COD của hai mô hình

3.2. Xử lý Nito

Quá trình xử lý Nito bao gồm hai giai đoạn chính là nitrat hóa (aerobic) và khử nitrat (anoxic), và hiệu quả của nó là một điểm khác biệt quan trọng giữa hai mô hình.

Xử lý amonia (NH_4^+-N)

Cả hai mô hình đều cho thấy khả năng nitrat hóa hiệu quả, chuyển hóa Amoni thành Nitrat. Hiệu suất xử lý Amoni trung bình của hai mô hình là tương đương nhau (Up-flow: 65.5%, Down-flow: 66.1%) và sự khác biệt này không có ý nghĩa về mặt thống kê. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng nồng độ Amoni đầu ra, dù đã giảm mạnh, vẫn cao hơn mức cho phép của QCVN 14:2008 (Cột A, ≤ 5 mg/L) trong hầu hết các ngày lấy mẫu. Điều này cho thấy quá trình nitrat hóa đã diễn ra nhưng chưa hoàn toàn triệt để.

Xử lý Nitrat ($NO_3^- - N$) và tổng Nito (TN)

Các thông số này thể hiện sự khác biệt rõ rệt nhất về cơ chế hoạt động của hai hệ thống:

✓ **Trong mô hình Up-flow (dòng ngược):** Nồng độ Nitrat ở đầu ra có xu hướng

cao hơn đầu vào trong nhiều thời điểm. Đây là kết quả trực tiếp của quá trình nitrat hóa Amoni. Do dòng chảy từ dưới lên duy trì điều kiện hiếu khí trong gần như toàn bộ cột lọc, quá trình khử nitrat (denitrification) diễn ra rất hạn chế. Điều này dẫn đến việc Nitrat bị tích tụ trong nước thải đầu ra.

✓ **Trong mô hình Down-flow (dòng xuôi):** Mô hình này cho thấy khả năng xử lý Tổng Nito (TN) tốt hơn, với hiệu suất trung bình là 73.4% so với 69.4% của mô hình Up-flow. Mặc dù phân tích thống kê trong tài liệu gốc cho thấy sự khác biệt này không có ý nghĩa (với giá trị p được báo cáo không hợp lệ là 2.2), xu hướng xử lý tốt hơn của mô hình Down-flow là rõ ràng. Cơ chế được giải thích là do sự phân tầng oxy: Lớp vật liệu lọc phía trên có nồng độ oxy cao, thuận lợi cho nitrat hóa [2]; trong khi các lớp vật liệu phía dưới có nồng độ oxy thấp hơn (điều kiện anoxic), tạo môi trường cho vi khuẩn khử nitrat sử dụng Nitrat (tạo ra từ lớp trên) và nguồn cacbon hữu cơ còn lại để chuyển hóa thành khí N_2 . Điều này được phản ánh qua nồng độ Nitrat đầu ra ở mô hình Down-flow thấp hơn so với mô hình Up-flow.

3.3. Xử lý tổng chất rắn lơ lửng (TSS) và độ đục

Kết quả xử lý chất rắn cho thấy sự vượt trội của mô hình dòng chảy ngược:

✓ **Hiệu quả xử lý TSS:** Mô hình Up-flow đạt hiệu suất trung bình 82%, cao hơn đáng kể so với 72,7% của mô hình Down-flow. Sự khác biệt này có ý nghĩa thống kê rõ rệt ($p = 0,015$). Nồng độ TSS đầu ra trung bình của mô hình Up-flow (khoảng 27 mg/L) đáp ứng tốt QCVN 14:2008 (Cột A, ≤ 50 mg/L).

✓ **Hiệu quả xử lý Độ đục:** Tương tự, hiệu suất khử độ đục của mô hình Up-flow (79,1%) cũng cao hơn một cách có ý nghĩa thống kê ($p = 0.032$) so với mô hình Down-flow (74,9%).

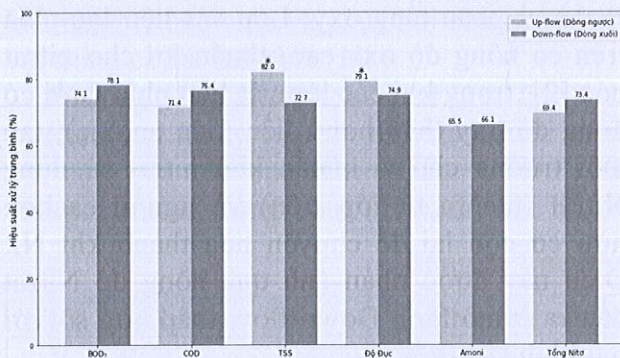
Sự ưu việt này có thể được giải thích bởi cơ chế lọc vật lý. Trong mô hình Up-flow, dòng nước đi từ dưới lên kết hợp với trọng lực giúp các hạt cặn lơ lửng được giữ lại hiệu quả hơn trong các khe rỗng của lớp vật liệu, hoạt động như một bể

lắng tích hợp. Ngược lại, dòng chảy xuôi có thể tạo ra lực kéo, cuốn theo một phần sinh khối bong tróc và các hạt cặn mịn ra khỏi bể.

3.4. Đánh giá chung

Bảng 3: So sánh hiệu suất xử lý trung bình và ý nghĩa thống kê giữa hai mô hình

Chỉ tiêu	Hiệu suất TB (%) - Up-flow	Hiệu suất TB (%) - Down-flow	p-value	Khác biệt có ý nghĩa ($p < 0,05$)
BOD ₅	74,1	78,1	0,178	Không
COD	71,4	76,4	0,177	Không
TSS	82	72,7	0,015	Có
Độ Đục	79,1	74,9	0,032	Có
Amoni (NH ₄ ⁺ -N)	65,5	66,1	> 0,05*	Không
Nitrat (NO ₃ ⁻ -N) ¹	55,9	38,4	0,002	Có
Tổng Nito (TN)	69,4	73,4	> 0,05*	Không



Hình 6: So sánh hiệu quả xử lý trung bình giữa hai mô hình

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu này đã thành công trong việc thiết kế, vận hành và so sánh hiệu quả của hai mô hình bể phản ứng sinh học giá thể cố định: dòng ngược và dòng xuôi, trong xử lý nước thải sinh hoạt. Kết quả cho thấy cả hai mô hình đều xử lý hiệu quả các chất ô nhiễm chính, với chất lượng nước đầu ra đạt Cột A, QCVN 14:2008/BTNMT.

Phân tích so sánh chỉ ra rằng mô hình dòng ngược thể hiện hiệu suất vượt trội hơn, đặc biệt trong việc loại bỏ tổng chất rắn lơ lửng (TSS), độ đục và Nitrat. Sự khác biệt về hiệu quả xử lý TSS và Nitrat giữa hai bể được xác định là có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Trong khi đó, không có sự khác biệt đáng kể nào được ghi nhận đối với hiệu suất loại bỏ BOD và COD giữa hai hệ thống.

Từ góc độ kỹ thuật và kinh tế, bể lọc sinh học dòng ngược được xem là một giải pháp tối ưu

Để tổng kết, hiệu quả xử lý trung bình và kết quả kiểm định thống kê của hai mô hình được trình bày trong Bảng 3 và được minh họa trực quan trong Hình 6.

hơn. Hiệu quả xử lý cao hơn kết hợp với lợi thế không yêu cầu bể lắng thứ cấp giúp giảm đáng kể chi phí đầu tư và xây dựng. Những phát hiện này cung cấp dữ liệu quan trọng, góp phần vào việc lựa chọn công nghệ xử lý nước thải cho các tòa nhà chung cư và các ứng dụng thực tế khác.

Mặc dù nghiên cứu đã đạt được các mục tiêu đề ra, một số hạn chế về thời gian khảo sát và mô hình thực nghiệm nhỏ nên chưa thể đi vào khảo sát sâu hơn và lâu hơn, cần có những khảo sát thêm một số chỉ tiêu khác của nước thải nhằm đạt tất cả các thông số theo QCVN14-2008/BTNMT về xử lý nước thải sinh hoạt. Dựa trên cơ sở đó, các kiến nghị cho những nghiên cứu tiếp theo được đề xuất như sau:

✓ Tiến hành các nghiên cứu dài hạn hơn trên mô hình có quy mô lớn hơn để đánh giá độ ổn định và hiệu suất xử lý trong điều kiện vận hành thực tế. Việc thu thập dữ liệu từ nhiều nguồn nước thải đa dạng sẽ làm tăng tính khách quan và khả năng áp dụng của kết quả.

✓ Mở rộng phạm vi phân tích, bổ sung các chỉ tiêu khác chưa được khảo sát như Nitrit và Phốt pho tổng để có được đánh giá toàn diện về chất lượng nước đầu ra theo quy chuẩn hiện hành.

✓ Thực hiện các nghiên cứu vi sinh chuyên sâu nhằm xác định và tìm hiểu vai trò của các cộng đồng vi sinh vật chủ chốt, như Nitrosomonas và Nitrobacter, để làm rõ cơ chế sinh học dẫn đến sự khác biệt về hiệu quả xử lý Nitrat giữa hai mô hình bể lọc.

✓ Xem xét khả năng phát triển các mô hình lai (hybrid) kết hợp các ưu điểm của cả hai cấu hình dòng ngược (khả năng giữ cặn) và dòng xuôi (khả năng xử lý nito) nhằm tối ưu hóa toàn diện hiệu quả xử lý.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]APHA. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Standard Methods. <https://doi.org/ISBN 9780875532356>.
[2]Costerton, J. W., Lewandowski, Z., Caldwell, D. E., Korber, D. R., & Lappin-Scott, H. M. (1995). Microbial biofilms. Annual Review of Microbiology, 49(1), 711–745.

- [3]Grady C. P. L., Jr., Glen T. Daigger, and Henry C. Lim.(1999).Biological Wastewater Treatment: Second Edition. Marcel Dekker, Inc.
[4]Hà T. Đ. (2011), Kỹ thuật bảo vệ môi trường, NXB KHKT.
[5]Triết L. M. (2018a). Xử lý nước thải. Wastewater Treatment 1 (Vol. 1).
[6]Triết L. M. (2018b). Xử lý nước thải. Wastewater Treatment 2 (Vol. 2).
[7]Trinh, X. L. (2009). Tính toán thiết kế các công trình xử lý nước thải. Nhà xuất bản Xây dựng Hà Nội (Vol. 15, Issue 9).
[8]Viết L. H., Ngân. N. V. C. (2014), Giáo trình Phương pháp xử lý nước thải, NXB Đại học Cần Thơ

SUMMARY

Comparison of domestic wastewater treatment efficiency of two types of biological filter tanks with fixed media, reverse flow and downflow in apartment buildings in Binh Duong

Tran Thai Ha¹, Do Duc Dang Khoa¹, Do Quang Linh²

This study compared the efficiency of domestic wastewater treatment between two fixed-bed biofilter models: up-flow and down-flow. The two models were operated in parallel under equivalent conditions to evaluate the ability to remove major pollutants such as chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD), total suspended solids (TSS), ammonium, nitrate, turbidity and color. The results showed that both models treated the effluent to meet the Vietnamese Standard QCVN 14:2008/BTNMT. However, statistical analysis (T-test) showed that the up-flow biofilter was significantly more effective in treating TSS, nitrate and turbidity than the down-flow biofilter. Economically, the up-flow model also showed advantages because it did not require the construction of a secondary settling tank, helping to save investment costs. The study provides important scientific data, suggesting that the counterflow fixed media biofilter is an effective and economical technological solution for wastewater treatment in apartment buildings in rapidly developing urban areas such as Binh Duong.

Keywords: Domestic wastewater; Fixed media biofilter; Biofilter; Counterflow; Downflow; QCVN 14:2008/BTNMT.

¹Faculty of Biotechnology, Ho Chi Minh City Open University

²University of Science, VNU-HCM

Ngày nhận bài: 25/8/2025

Ngày thông qua phản biện: 10/9/2025

Ngày duyệt đăng: 24/9/2025