

Evaluating the efficiency of nitrogen removal through batch aerobic biotechnology by changing the ratio of chemical oxygen demand to nitrogen

Loi T. Nguyen^{1*}, Quyen L. A. Nguyen¹, Tran N. Trinh¹, Thao H. U. Nguyen¹, & Huy V. Nguyen²

¹Faculty of Environment and Natural Resources, Nong Lam University, Ho Chi Minh City, Vietnam

²Department of Environmental Engineering, Nong Lam University, Ho Chi Minh City, Vietnam

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Research Paper Received: March 20, 2025 Revised: May 27, 2025 Accepted: June 09, 2025 Keywords Assimilation Batch aerobic Sludge concentration Nitrification COD:N ratio *Corresponding author Nguyen Thanh Loi Email: 21127114@st.hcmuaf.edu.vn	This study aimed to evaluate nitrogen removal efficiency in simulated wastewater utilizing aerobic biological technology in batch processes while varying the chemical oxygen demand to nitrogen (COD:N) ratio. Experimental results with a daily load of 1.14 kg COD/m³, a sludge concentration of 2500 - 3000 mg/L, a pH range of 7 - 8.5, and an aeration duration of 6 h per cycle (continuous 24-h operation) showed that compared to the original ratio COD:N of 100:5 (according to textbooks), the COD:N ratio of 100:7.5 was the most optimal for the treatment efficiency. Total nitrogen removal efficiency ranged from 81.7 to 93.9%, which was considered suitable for the operation of sequencing batch aerobuc tanks, with the 6-h aeration period ensuring stable performance. These results demonstrate that both assimilation and nitrification processes occurred effectively under these optimal conditions. At the same time, the system also exhibited very effective organic matter treatment capacity, maintaining COD removal efficiency above 88% regardless of the COD:N ratio applied during the study. This suggests that the treatment process is not only stable but also highly flexible, efficiently managing variations in organic loading in the wastewater.

Cited as: Nguyen, L. T., Nguyen, Q. L. A., Trinh, T. N., Nguyen, T. H. U., & Nguyen, H. V. (2026). Evaluating the efficiency of nitrogen removal through batch aerobic biotechnology by changing the ratio of chemical oxygen demand to nitrogen. *The Journal of Agriculture and Development* 25(4), 100-111.

Đánh giá hiệu quả xử lý N bằng công nghệ sinh học hiếu khí từng mẻ khi thay đổi tỉ lệ nhu cầu ôxi hóa học:N

Nguyễn Thành Lợi^{1*}, Nguyễn Lâm Ái Quyên¹, Trịnh Ngọc Trân¹, Nguyễn Hoàng Uyên Thảo¹
& Nguyễn Văn Huy²

¹Khoa Môi Trường và Tài Nguyên, Trường Đại Học Nông Lâm TP.HCM, TP. Hồ Chí Minh

²Bộ Môn Kỹ Thuật Môi Trường, Trường Đại Học Nông Lâm TP.HCM, TP. Hồ Chí Minh

THÔNG TIN BÀI BÁO

Bài báo khoa học

Ngày nhận: 20/03/2025

Ngày chỉnh sửa: 27/05/2025

Ngày chấp nhận: 09/06/2025

Từ khóa

Đồng hóa

Hiếu khí từng mẻ

Nồng độ bùn

Nitrat hóa

Tỉ lệ COD:N

*Tác giả liên hệ

Nguyễn Thành Lợi

Email:

21127114@st.hcmuaf.edu.vn

TÓM TẮT

Mục tiêu của nghiên cứu này nhằm đánh giá hiệu quả xử lý nitơ trong nước thải mô phỏng bằng công nghệ sinh học hiếu khí từng mẻ khi thay đổi tỉ lệ COD:N. Kết quả thực nghiệm với tải trọng hàng ngày bằng 1,14 kg COD/m³, nồng độ bùn trong khoảng 2500 - 3000 mg/L ở pH 7 - 8,5 và thời gian sục khí trong một mẻ là 6 giờ (vận hành 24 giờ liên tục) cho thấy so với tỉ lệ gốc COD:N = 100:5 (theo các giáo trình) thì COD:N = 100:7,5 là tối ưu nhất cho hiệu suất xử lý tổng nitơ dao động từ 81,7 - 93,9% được đánh giá là phù hợp cho vận hành hệ thống Aerotank theo mẻ, với thời gian khí khí 6 giờ đảm bảo hiệu quả ổn định. Chứng tỏ rằng cả quá trình đồng hóa và nitrat hóa đều diễn ra hiệu quả dưới điều kiện tối ưu này. Đồng thời, hệ thống cũng cho thấy khả năng xử lý chất hữu cơ rất hiệu quả, với hiệu suất loại bỏ COD luôn duy trì ở mức trên 88% bất kể tỉ lệ COD:N được áp dụng trong quá trình nghiên cứu. Điều này chứng tỏ rằng quá trình xử lý không chỉ ổn định mà còn có tính linh hoạt cao, đáp ứng tốt các biến động về tải lượng hữu cơ trong nước thải.

1. Đặt Vấn Đề

Trong bối cảnh phát triển kinh tế - xã hội mạnh mẽ, đặc biệt là quá trình công nghiệp hóa, đô thị hóa diễn ra nhanh chóng, Việt Nam đang phải đối mặt với nhiều thách thức nghiêm trọng liên quan đến vấn đề ô nhiễm môi trường, trong đó nổi bật là ô nhiễm nước thải. Nguồn thải phát sinh từ các hoạt động sinh hoạt đô thị, sản xuất công nghiệp, nông nghiệp và chăn nuôi đang gia tăng cả về lưu lượng lẫn mức độ phức tạp trong thành phần ô nhiễm.

Theo Nguyen (2023), nước ta có khoảng 23,53 triệu con lợn (90% là lợn thịt) và 375,2 ngàn con bò sữa. Như vậy, lượng nước thải ra hàng năm từ 21,15 triệu con lợn thịt và 375,2 ngàn con bò sữa sẽ vào khoảng 285 triệu m³/năm. Nước thải từ chăn nuôi, đặc biệt là nước rửa chuồng trại, chứa hàm lượng cao các hợp chất NH₄⁺, chất hữu cơ dễ phân hủy, vi sinh gây bệnh... nhưng lại ít được xử lý hoặc chỉ xử lý sơ bằng hầm biogas. Tình trạng này khiến ô nhiễm cục bộ tại các vùng nông thôn, ven đô ngày càng gia tăng.

Hiện nay, cả nước chỉ có 17% tổng lượng nước thải sinh hoạt được xử lý trước khi đổ ra môi trường (VOV, 2024). Việc này đã tạo ra các “dòng sông chết”, ô nhiễm trầm trọng và ngập úng tại các đô thị hiện nay. Hầu hết nước thải sinh hoạt chưa qua xử lý hoặc xử lý sơ bộ đều được xả trực tiếp ra các sông, kênh, rạch, gây ô nhiễm nghiêm trọng đến nguồn nước mặt.

Hiện nay, theo Lam (2018) có ba nhóm phương pháp xử lý nước thải được áp dụng phổ biến gồm: phương pháp vật lý, phương pháp hóa học và phương pháp sinh học. Tuy nhiên, các phương pháp vật lý và hóa học truyền thống thường đi kèm với chi phí đầu tư và vận hành cao, yêu cầu sử dụng nhiều loại hóa chất, từ đó dễ phát sinh các ảnh hưởng thứ cấp đến môi trường cũng như làm tăng lượng bùn thải cần xử lý. Trong bối cảnh đó, phương pháp xử lý sinh học đang được đánh giá là một giải pháp hiệu quả, bền vững và thân thiện môi trường. Đây là phương pháp xử lý nước thải bằng bùn hoạt tính (vi sinh vật), trong đó không khí được cấp vào bể để duy trì điều kiện hiếu khí cho vi sinh vật phát triển và phân hủy chất hữu cơ. Tại Việt Nam, nhiều nghiên cứu xử lý nitơ bằng phương pháp sinh học đã được thực hiện, tuy nhiên các công trình này thường chỉ tập trung khảo sát trên một số tỉ lệ nhu cầu ôxi hóa học/nitơ (COD:N) giới hạn. Chính vì vậy, mục tiêu của nghiên cứu này nhằm đánh giá hiệu quả xử lý nitơ trong nước thải mô phỏng bằng công nghệ sinh học hiếu khí từng mẻ khi thay đổi tỉ lệ COD:N.

2. Vật Liệu và Phương Pháp

2.1. Vật liệu

Hệ thống mô hình bể phản ứng bao gồm ba bình với thể tích danh định 5 L mỗi bình (Hình 1), được chế tạo từ vật liệu trong suốt nhằm hỗ trợ quá trình quan sát và theo dõi các hiện

tượng bên trong. Hệ thống sục khí được thiết kế và lắp đặt đồng bộ cho các bình phản ứng. Để tăng cường hiệu quả phân tán khí, mỗi bình được trang bị ba viên đá bọt, đóng vai trò làm vật liệu hỗ trợ khuếch tán khí. pH cho các quá trình được duy trì trong khoảng giá trị tối ưu được điều chỉnh bằng thiết bị cung cấp kiềm và axit.

Bùn hoạt tính được sử dụng trong nghiên cứu được lấy từ bể hiếu khí trạm xử lý nước thải sinh hoạt tại Khách sạn Careville (Quận 1) sau đó đem phân tích và khống chế nồng độ bùn MLSS trong khoảng 2.500 - 3.000 mg/L, để tối ưu cho sự phát triển của vi sinh vật trong bùn hoạt tính vì vậy nhiệt độ cần thiết cho quá trình nghiên cứu 25 - 35°C.

Nước thải mô phỏng sử dụng trong nghiên cứu được chuẩn bị với thành phần cụ thể nhằm cung cấp đầy đủ dinh dưỡng và khoáng chất thiết yếu cho vi sinh vật, đảm bảo điều kiện tối ưu cho quá trình xử lý sinh học. Thành phần chính bao gồm glucose (nguồn cung cấp COD), amoni acetate ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) (nguồn cung cấp nitơ), KH_2PO_4 (bổ sung photpho), NaHCO_3 (duy trì độ kiềm) và dung dịch muối khoáng vi lượng. Tải lượng COD hàng ngày được cố định ở mức 1,14 kg COD/m³, tương ứng với 1,14 g glucose trên 3 L nước thải mô phỏng (COD $\approx$ 380 mg/L). Thành phần dinh dưỡng khác bao gồm 0,051 g KH_2PO_4 (tương ứng 0,0114 g P) và 0,76 g NaHCO_3 nhằm duy trì hệ đệm kiềm ổn định.

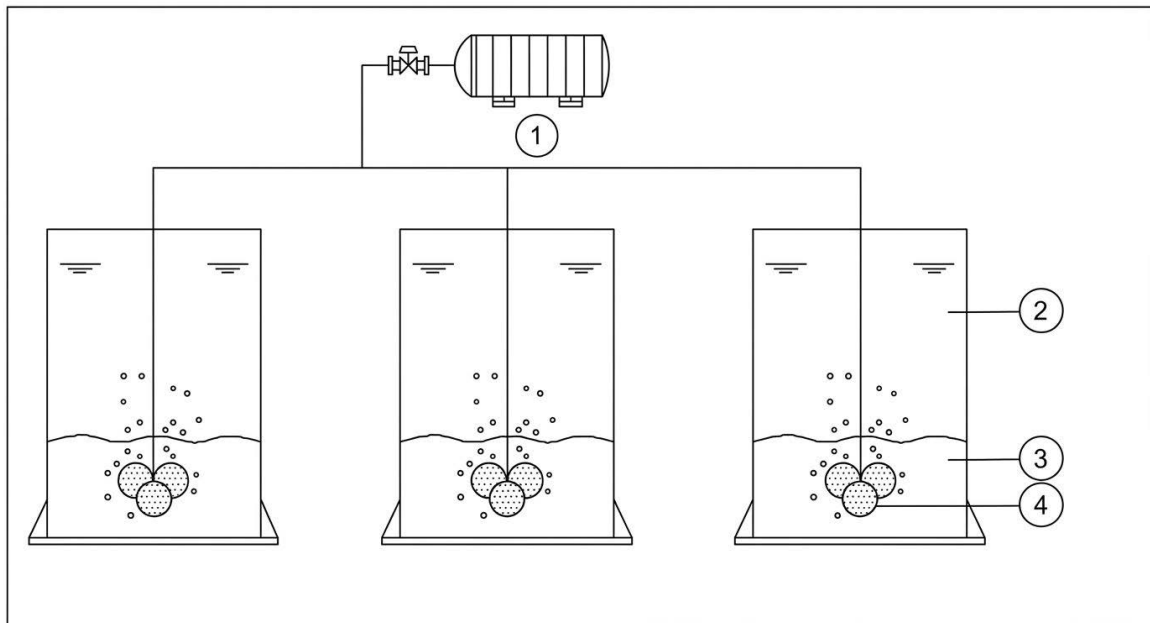
Nitơ được bổ sung theo ba mức khác nhau để đánh giá tác động của nồng độ nitơ đến hiệu suất xử lý:

- Bình 1: 0,3 g $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (0,057 g N),
- Bình 2: 0,6 g $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (0,114 g N),
- Bình 3: 0,93 g $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (0,171 g N).

Bên cạnh đó, mỗi bình phản ứng được bổ sung 3 mL dung dịch nguyên tố vi lượng nhằm đảm bảo vi sinh vật có đủ khoáng chất cần thiết. Thành phần của 1 L dung dịch vi lượng bao gồm NaCl (1 g); KCl (1,4 g); $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (1,9 g) và $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (2 g). Công thức này được thiết kế nhằm duy trì sự ổn định về dinh dưỡng, khoáng chất và tính chất hóa học của nước thải, đồng

thời đáp ứng yêu cầu nghiên cứu về xử lý nước thải sinh học.

Để kiểm soát pH trong khoảng 7,0 - 8,5 dung dịch H_2SO_4 5% và NaOH 5% được sử dụng trong các mẻ vận hành nhằm điều chỉnh độ pH, tạo môi trường thuận lợi cho hoạt động của vi sinh vật trong suốt quá trình nghiên cứu.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống công nghệ sinh học hiếu khí. Chú thích: ① Máy thổi khí, ② Nước thải mô phỏng, ③ Lớp bùn, ④ Đá bọt.

2.2. Phương pháp

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá hiệu quả xử lý nitơ trong nước thải bằng quá trình sinh học hiếu khí. Quá trình thực nghiệm được tiến hành theo ba giai đoạn chính: thích nghi bùn hoạt tính, nâng tải trọng và thay đổi tỉ lệ dinh dưỡng.

Giai đoạn thích nghi bùn hoạt tính: Ở giai đoạn đầu, bùn hoạt tính được vận hành trong bể phản ứng với tải trọng ban đầu hàng ngày

$L = 0,68 \text{ kg COD/m}^3$, sử dụng nước thải nhân tạo. Các bình phản ứng được thiết lập với tỉ lệ COD:N:P khác nhau nhằm đánh giá khả năng thích nghi của vi sinh vật: Bình 1 (100:5:1); bình 2 (100:10:1); bình 3 (100:15:1).

Mỗi mẻ thí nghiệm tuân theo quy trình: (1) Chuẩn bị bùn hoạt tính: Nạp bùn vào các bình với nồng độ 3000 mg/L, bùn đã được nuôi cấy trong phòng thí nghiệm. (2) Nạp nước thải: Thêm nước thải nhân tạo với thành phần dinh dưỡng theo tỉ lệ thiết lập. (3) Sục khí và theo dõi:

Cung cấp khí liên tục trong 6 giờ/mẻ, đảm bảo hệ thống hoạt động ổn định, quan sát sự phát triển của vi sinh vật và duy trì pH ở mức 7 - 8,5 (Bắt đầu giai đoạn sục khí, thí nghiệm đều được đo nồng độ oxy hòa tan (DO) bằng máy đo đảm bảo $> 3 \text{ mg/L}$; tỷ lệ F/M hàng ngày đảm bảo tỉ lệ 0,2 - 0,6 $\text{kg BOD}_5/\text{kg MLVSS}$). F/M là tỷ lệ chất dinh dưỡng cần cho các vi sinh vật mỗi ngày với khối lượng của vi sinh vật được giữ trong quá trình sục khí (được tính toán dựa trên BOD nhưng bài nghiên cứu dùng các hợp chất hữu cơ đơn giản để phân hủy nên coi như $\text{COD} = \text{BOD}$). (4) Lắng và lấy mẫu: Sau khi lắng, phần nước trong được lấy ra, bổ sung nước thải mới theo nguyên tắc gạn bao nhiêu, bổ sung bấy nhiêu. Lấy mẫu nước sau lắng để đo COD, tổng nitơ và các chỉ tiêu khác theo các phương pháp định lượng bằng trắc quang trên máy quang phổ, ghi nhận kết quả và hiện tượng quan sát được. (5) Tiếp tục vận hành: Sau quá trình lắng và xả, hệ thống được vận hành lặp lại theo chu trình tương tự cho đến khi bùn đạt trạng thái thích nghi.

Giai đoạn nâng tải trọng: Sau khi bùn hoạt tính đã thích nghi, tải trọng hữu cơ hàng ngày được nâng lên $L = 1,14 \text{ kg COD/m}^3$, trong khi tỉ lệ dinh dưỡng được giữ nguyên. Mỗi mẻ vận

hành với nồng độ $\text{COD} = 380 \pm 13,69 \text{ mg/L}$, tổng nitơ thay đổi lần lượt ở mức $19 \pm 1,04$; $38 \pm 0,4$; $57 \pm 3,03 \text{ mg/L}$. Quy trình vận hành được duy trì tương tự giai đoạn thích nghi, đảm bảo đánh giá chính xác hiệu suất xử lý của hệ thống.

Giai đoạn thay đổi tỉ lệ dinh dưỡng: Sau khi hoàn thành giai đoạn nâng tải trọng, tiếp tục điều chỉnh tỉ lệ dinh dưỡng trong các bình phản ứng nhằm phân tích sâu hơn về ảnh hưởng của thành phần dinh dưỡng đến hiệu quả xử lý nitơ. Các tỉ lệ COD:N:P được nghiên cứu lần lượt là bình 1 (100:2,5:1), 2 (100:7,5:1) và 3 (100:12,5:1).

Các thông số chất lượng nước: Nhiệt độ, pH, DO được xác định bằng các thiết bị đo nhanh; thông số COD, nitơ đo bằng phương pháp trắc quang với máy so màu Spectro Direct (hãng Lovibond - Đức); MLSS đối với mẫu bùn được phân tích phương pháp sấy và cân khối lượng trên giấy lọc; chỉ số SVI đo bằng ống đong thủy tinh.

3. Kết Quả và Thảo Luận

3.1. Giai đoạn thích nghi của bùn hoạt tính: $L = 0,68 \text{ kg COD/m}^3$ hàng ngày

Bảng 1. Kết quả chỉ số nhu cầu ôxi hóa học (COD) và tổng nitơ

TT	Tỉ lệ	COD (mg/L)		Hiệu suất (%)	Tổng nitơ (mg/L)		Hiệu suất (%)
		Đầu vào	Đầu ra		Đầu vào	Đầu ra	
Bình 1	100:5:1	190	10,8	94,3	9,5	7,6	20,0
Bình 2	100:10:1	190	10	94,7	19	6	69,1
Bình 3	100:15:1	190	12,1	93,6	28,5	10	66,1

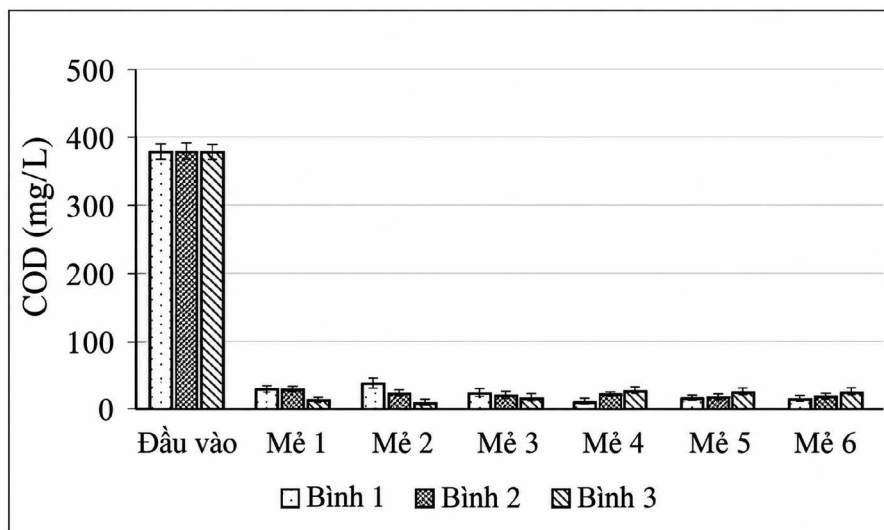
Theo như kết quả từ quá trình nghiên cứu tại Bảng 1 cho thấy quá trình xử lý COD tại cả ba mô hình đều đạt hiệu suất cao, dao động

từ 93,6 đến 94,7%. Bình 2 cho hiệu quả loại bỏ COD tốt nhất (94,7%), tiếp theo là bình 1 (94,3%) và bình 3 (93,6%).

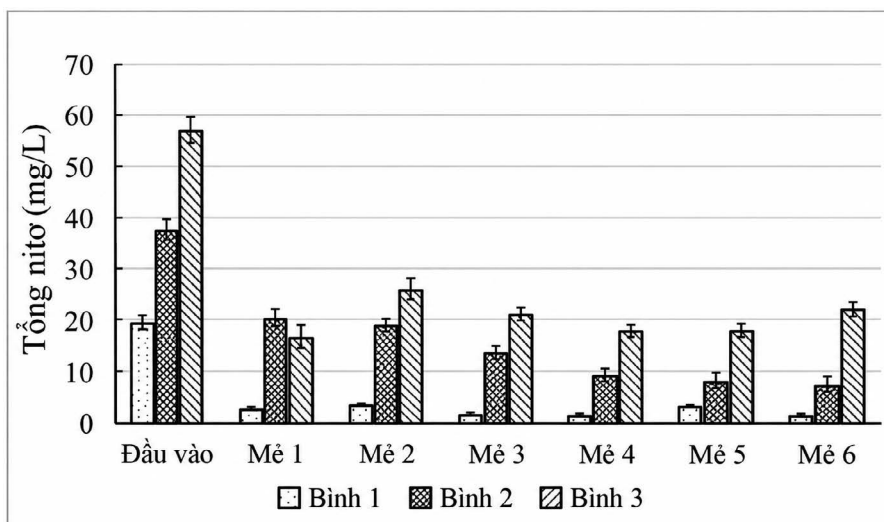
Về tổng nitơ tại Bảng 1 thì kết quả cho thấy bình 2 đạt hiệu quả xử lý nitơ cao nhất với 69,1%, tiếp theo là bình 3 với 66,1%. Ngược lại, bình 1 chỉ đạt hiệu quả xử lý 20%, cho thấy khả năng loại bỏ nitơ kém hơn rõ rệt so với hai bình còn lại có thể là do ở giai đoạn thích nghi của bùn hoạt tính tỉ lệ COD:N (N quá

thấp) ảnh hưởng đến sự phát triển của vi sinh vật (nitơ là một trong những nguyên tố dinh dưỡng đa lượng thiết yếu mà vi sinh vật cần để xây dựng tế bào).

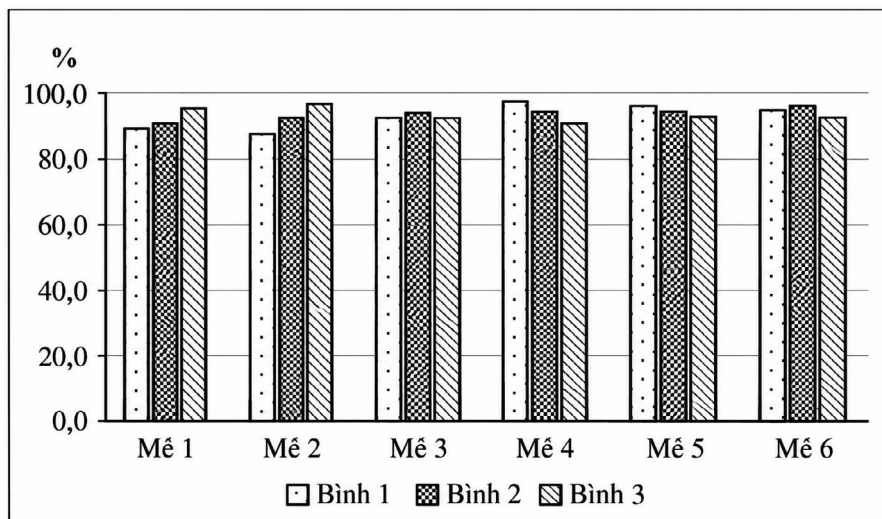
3.2. Giai đoạn thay đổi tải trọng: $L = 1,14 \text{ kg COD/m}^3 \text{ hàng ngày}$



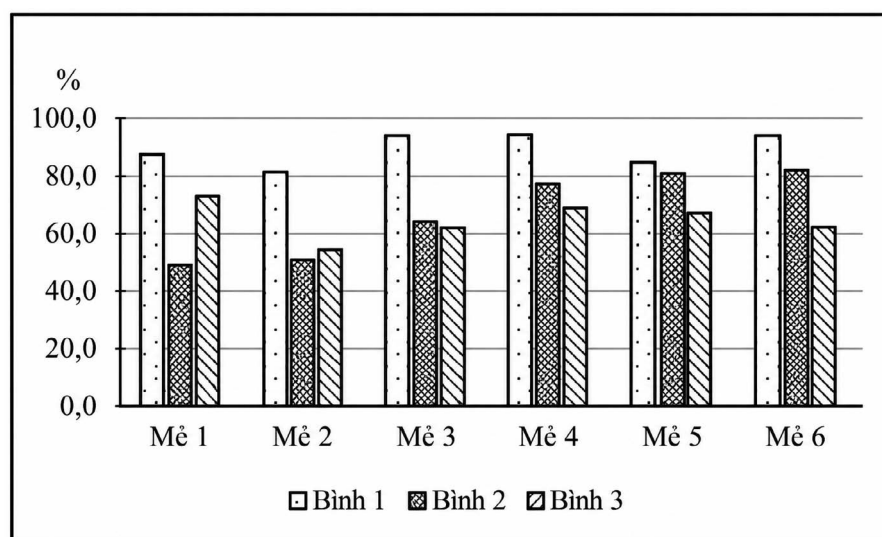
Hình 2. Sự thay đổi nhu cầu ôxi hóa học (COD) trong các mẻ.



Hình 3. Sự thay đổi tổng nitơ trong các mẻ.



Hình 4. Sự thay đổi tổng nitơ trong các mẻ.



Hình 5. Hiệu suất xử lý tổng N.

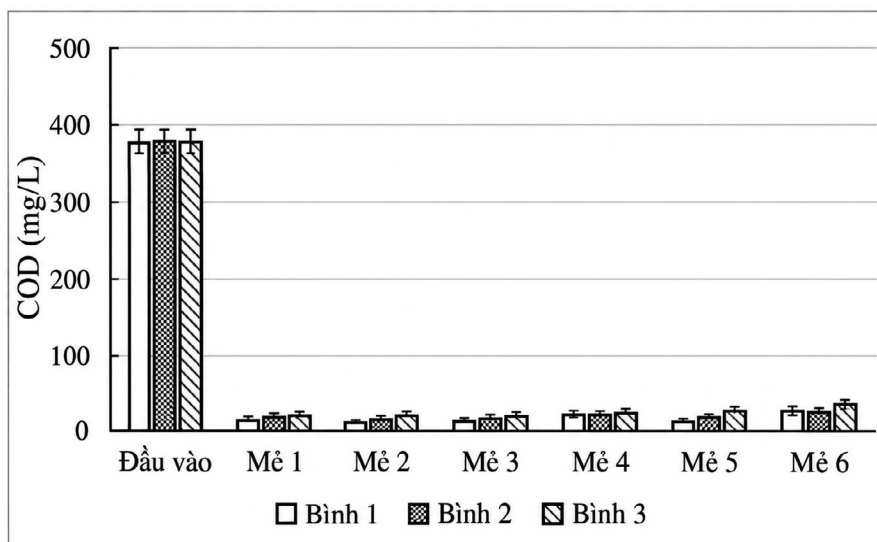
Hiệu quả xử lý chất hữu cơ được đánh giá thông qua nồng độ COD đầu ra so với đầu vào. Kết quả trình bày trong Hình 2 cho thấy, nồng độ COD ban đầu là $380 \pm 13,69$ mg/L, sau xử lý giảm xuống chỉ còn từ $6,2 \pm 0,85$ mg/L đến $42,8 \pm 0,2$ mg/L. Tương ứng, Hình 4 thể hiện hiệu suất loại bỏ trên 88% ở hầu hết các mẻ. Mẻ 4 (Bình 1 COD:N:P = 100:5:1) ban đầu $380 \pm 13,69$ mg/L sau xử lý chỉ còn $6,2 \pm 0,85$

mg/L ghi nhận hiệu suất xử lý cao nhất, đạt 98,4 %. Trong các mô hình thử nghiệm, bình 3 (COD:N:P = 100:15:1) cho kết quả vượt trội hơn so với Bình 1 và Bình 2, đặc biệt rõ rệt tại mẻ 1 (96,48%) và mẻ 2 (98,1 %). Tuy nhiên, hiệu quả xử lý có xu hướng giảm nhẹ trong các mẻ cuối (Mẻ 4, Mẻ 5 và Mẻ 6) sau xử lý lượng COD lần lượt là $27,6 \pm 3,57$; 23,4 và 24,5 mg/L.

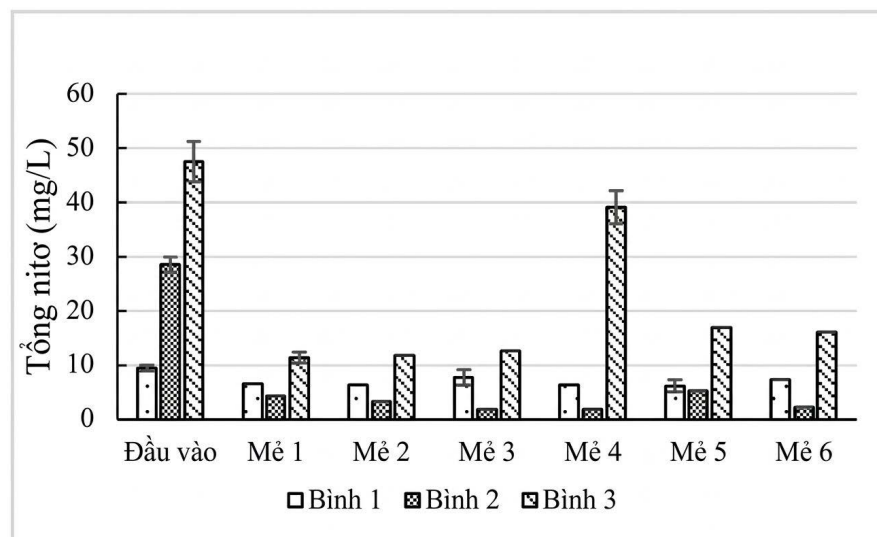
Nồng độ tổng nitơ trong các mẫu đầu vào dao động theo (Hình 3) lần lượt $19 \pm 1,04$; $38 \pm 0,4$; $57 \pm 3,03$ mg/L. Sau xử lý, nồng độ nitơ giảm đáng kể, đặc biệt tại mẻ 3; 4 và 6, khi nồng độ đầu ra chỉ còn từ 1 đến 1,2 mg/L ở bình 1, cho thấy đồng hóa nitơ diễn ra hiệu quả. Mặc dù bình 3 ghi nhận tại Mẻ 2 (tổng N = $25,9 \pm 1,75$ mg/L) với hiệu suất xử lý 54,4% tuy nhiên các mẻ còn lại đều đạt trong khoảng

từ 61,8 đến 72,7%. Đáng chú ý, theo (Hình 5) hiệu suất xử lý nitơ của bình 2 có xu hướng tăng dần qua các mẻ, từ khoảng 49 đến 82,4%, cho thấy hệ vi sinh vật trong bình này có thể đã thích nghi dần theo thời gian, góp phần cải thiện hiệu quả xử lý.

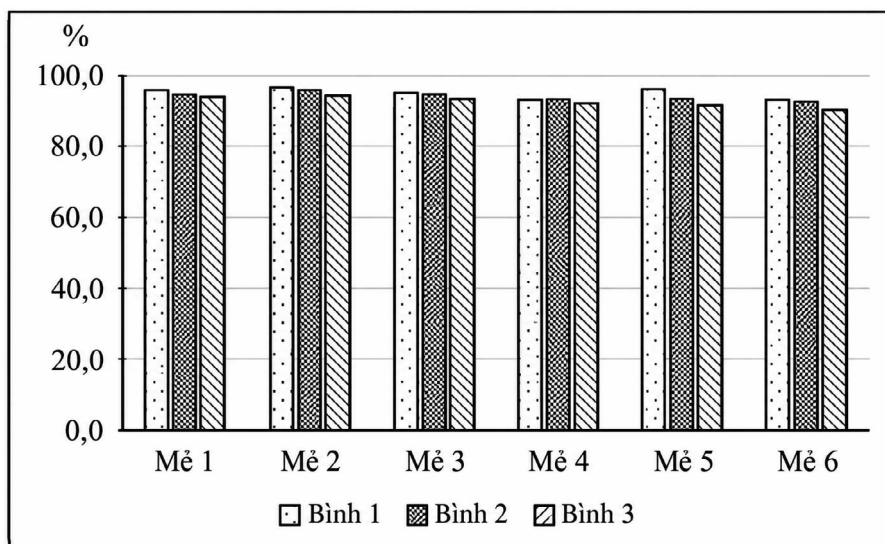
3.3. Giai đoạn thay đổi tỉ lệ đánh giá hiệu quả xử lý: $L = 1,14$ kg COD/m³ hàng ngày



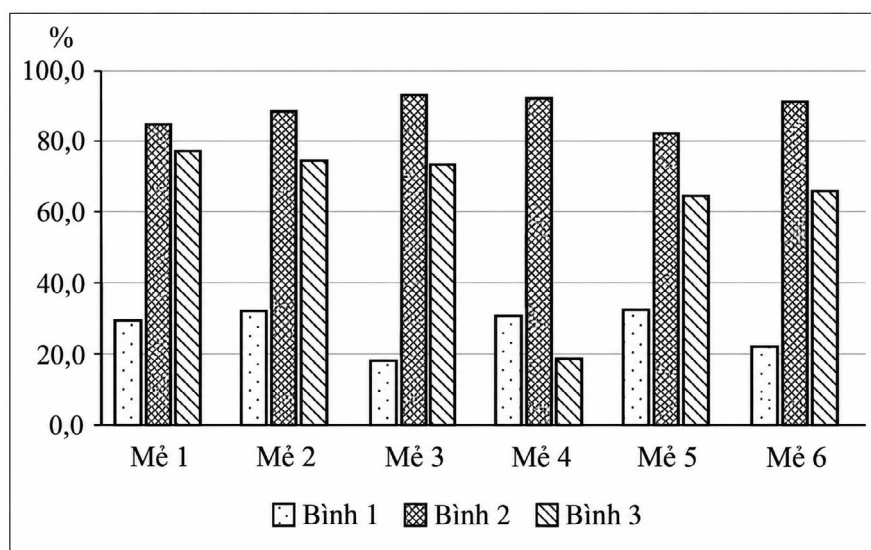
Hình 6. Sự thay đổi tổng nitơ trong các mẻ.



Hình 7. Sự thay đổi tổng nitơ trong các mẻ khi thay đổi tỉ lệ.



Hình 8. Biểu đồ thể hiện hiệu suất COD khi tỉ lệ thay đổi trong các mẻ.



Hình 9. Hiệu suất xử lý tổng N khi tỉ lệ thay đổi trong các mẻ.

Nồng độ COD đầu vào của hệ thống theo Hình 6 được duy trì ở mức $380 \pm 13,69$ mg/L. Sau quá trình xử lý, nồng độ COD đầu ra giảm mạnh, dao động trong khoảng từ $11,7 \pm 1,47$ đến $37,8 \pm 3,74$ mg/L. Hiệu suất loại bỏ COD luôn đạt trên 90%, phản ánh khả năng xử lý ô nhiễm hữu cơ hiệu quả và cho thấy hệ thống hoạt động

ổn định. Đặc biệt, giai đoạn từ mẻ 1 đến 3 ở các bình ghi nhận hiệu suất xử lý cao nhất, với nồng độ COD đầu ra chỉ còn khoảng $11,7 \pm 1,47$ đến 23 mg/L. Kết quả Hình 8 cho thấy mẻ 2 (bình 1) đạt hiệu suất xử lý tối ưu nhất (96,9%), cho thấy hệ vi sinh vật hoạt động trong điều kiện thuận lợi nhất tại thời điểm này.

Nồng độ tổng nitơ trong các mẫu đầu vào dao động theo (Hình 7) lần lượt $9,5 \pm 0,44$; $28,5 \pm 1,41$ và $47,5 \pm 3,7$ mg/L. Sau xử lý, nồng độ nitơ giảm đáng kể trong hầu hết các mẻ. Tuy nhiên, hiệu suất xử lý không đồng đều giữa các mô hình. Đáng lưu ý theo kết quả hiệu suất (Hình 9) tổng nitơ trong Bình 1 tại tất cả các mẻ đều có hiệu suất xử lý nằm trong khoảng 16,7 - 34,6%; cho thấy hiệu quả loại bỏ nitơ tại bể này còn hạn chế

so với bình 2 và 3. Điều này có thể thấy rằng tỉ lệ COD:N:P = 100:2,5:1 (bình 1) là không tối ưu cho xử lý N. Trong khi đó, với tỉ lệ COD:N:P = 100:7,5:1 (bình 2) thì đạt kết quả xử lý nitơ vượt trội tại mẻ 3 và 4 (93,9%), khi tổng nitơ giảm từ $28,5 \pm 1,41$ mg/L xuống chỉ còn $1,9 \pm 0,6$ mg/L và hiệu suất xử lý trong các mẻ luôn nằm trong khoảng 81,7 - 93,9% trong các mẻ.

Bảng 2. Hiệu suất xử lý N và nhu cầu ôxi hóa học (COD)

Chỉ số	Tỉ lệ	Hiệu quả xử lý N (%)	Hiệu quả xử lý COD (%)
COD:N:P	100:2,5:1	16,7 - 34,6	93,3 - 96,9
	100:5:1	81,5 - 94,7	88,7 - 98,4
	100:7,5:1	81,7 - 93,9	92,9 - 96,5
	100:10:1	49,0 - 82,4	92,2 - 96,5
	100:12,5:1	17,3 - 75,6	90,1 - 94,7
	100:15:1	54,4 - 72,7	92,7 - 98,1

Trong nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian sục khí đến hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt bằng công nghệ SBR (Do, 2013) cho thấy công nghệ SBR vận hành trong điều kiện hoàn toàn hiếu khí với tỉ lệ dinh dưỡng COD:N $\approx 6 - 10$, với nồng độ bùn là 2.500 mg/L. Thời gian sục khí tối ưu được xác định là 8 giờ, với hiệu suất xử lý tổng nitơ đạt 80 - 86% nhờ sự hình thành bông bùn hoạt tính ổn định. Tuy nhiên, kết quả từ nghiên cứu hiện tại theo Bảng 2 cho thấy việc rút ngắn thời gian sục khí xuống 6 giờ vẫn duy trì hiệu quả xử lý nitơ ở mức ổn định (hiệu suất xử lý trung bình ở mỗi bình khi tỉ lệ COD:N $\approx 6 - 10$ trong khoảng 62 - 70%), đồng thời nâng cao tính linh hoạt và hiệu quả vận hành hệ thống. Điều này nhấn mạnh vai trò của việc điều chỉnh thời gian sục khí phù hợp với đặc tính nước thải đầu vào nhằm tối ưu hiệu quả xử lý và tiết kiệm năng lượng.

Trong nghiên cứu chuyển hóa Amoni bằng quá trình bùn hoạt tính với nitrat hóa: thực nghiệm quy mô phòng thí nghiệm (Phan, 2021), thí nghiệm được thực hiện với nước thải nhân tạo có tỉ lệ C/N (tính theo khối lượng) dao động từ 5 đến 10 Glucose ($C_6H_{12}O_6$) và amoni clorua (NH_4Cl) lần lượt được sử dụng làm nguồn cung cấp cacbon và nitơ, với tải trọng hữu cơ nằm trong khoảng 0,33 - 0,39 g COD/g MLVSS.ngày. Kết quả cho thấy nồng độ amoni ban đầu (NH_4^+) trong nước thải dao động từ 26,71 đến 28,42 mg/L. Sau 4 giờ vận hành, nồng độ $N-NH_4^+$ trong tất cả các mẻ phản ứng đều giảm mạnh, đạt hiệu suất loại bỏ rất cao từ 97,6 đến 99,2%, với nồng độ còn lại thấp hơn 1 mg/L. Như vậy để biết được hiệu suất xử lý tổng nitơ là bao nhiêu thì với nghiên cứu hiện tại theo Bảng 2 khi tỉ lệ COD:N được điều chỉnh từ 100:10 đến 100:15 (tương đương COD/N $\approx 6 - 10$) hiệu suất xử lý

tổng nitơ (bao gồm : NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- và nitơ dưới dạng hữu cơ) đã chứng tỏ rằng trung bình ở mỗi bình trong khoảng 62 - 70%.

Hiệu quả xử lý nitơ (Tchobanoglous & ctv., 2014) nếu không có quá trình khử nitrat sinh học, chỉ có khoảng 10 - 30% lượng nitơ có thể được loại bỏ trong quá trình xử lý nước thải sinh hoạt. Việc này chủ yếu diễn ra thông qua quá trình tổng hợp sinh khối khi loại bỏ BOD. Tuy nhiên, trong nghiên cứu thực tế sử dụng hai cơ chế đồng hóa và nitrat hóa, hiệu quả xử lý nitơ đạt được khá cao, tùy thuộc vào tỉ lệ COD:N đầu vào theo Bảng 2 cho thấy mức độ xử lý tổng nitơ đạt từ 16,7 đến 94,7%

Theo Trinh (2009), khi áp dụng tỉ lệ dinh dưỡng BOD:N:P = 100:5:1, một tỉ lệ được xem là tối ưu cho sự phát triển của vi sinh vật trong quá trình xử lý sinh học thì quá trình nitrat hóa chỉ xử lý được khoảng 20 - 40% hàm lượng amoni (NH_4^+) có trong nước thải. Tuy nhiên, trong nghiên cứu hiện tại sử dụng các hóa chất hữu cơ dễ phân hủy (với tỷ lệ BOD/COD xấp xỉ 1) vì vậy cùng tỉ lệ dinh dưỡng BOD:N:P = 100:5:1 như trong giáo trình, nhưng đồng thời kết hợp hai cơ chế xử lý là đồng hóa (sinh tổng hợp nitơ vào sinh khối vi sinh vật) và nitrat hóa (oxy hóa NH_4^+ thành NO_3^-). Nhờ sự phối hợp của hai cơ chế này, hiệu quả loại bỏ tổng nitơ (bao gồm cả dạng NH_4^+) được nâng cao đáng kể, theo thống kê từ các kết quả nghiên cứu từ Bảng 2 các tỷ lệ đạt mức từ 81,5 - 94,7%.

4. Kết Luận

Thực nghiệm đánh giá hiệu suất xử lý nitơ trong nước thải mô phỏng bằng công nghệ sinh học hiếu khí từng mẻ cho ta thấy tỉ lệ COD:N:P ảnh hưởng rõ rệt đến hiệu quả xử lý nitơ. Đối với tỉ lệ gốc COD:N = 100:5 (theo các giáo trình) thì COD:N = 100:7,5 là tối ưu nhất cho hiệu suất xử

lý nitơ ổn định trong khoảng 81,7 - 93,9% được xem là phù hợp nhất cho vận hành hệ thống Aerotank theo từng mẻ trong điều kiện nghiên cứu và thời gian sục khí được duy trì ở mức 6 giờ cho thấy hiệu quả xử lý nitơ ổn định. Điều này chứng tỏ rằng cả quá trình đồng hóa nitơ và nitrat hóa đều diễn ra hiệu quả dưới điều kiện tối ưu này. Đồng thời, hệ thống cũng cho thấy khả năng xử lý chất hữu cơ rất hiệu quả, với hiệu suất loại bỏ COD luôn duy trì ở mức trên 88% bất kể tỉ lệ COD:N được áp dụng trong quá trình nghiên cứu. Điều này chứng tỏ rằng quá trình xử lý không chỉ ổn định mà còn có tính linh hoạt cao, đáp ứng tốt các biến động về tải lượng hữu cơ trong nước thải. Việc duy trì hiệu suất xử lý COD cao ở nhiều điều kiện vận hành khác nhau cũng phản ánh hoạt động mạnh mẽ và bền vững của hệ vi sinh vật. Đây là yếu tố quan trọng trong việc đảm bảo chất lượng nước sau xử lý đáp ứng các tiêu chuẩn môi trường hiện hành.

Để hoàn thiện và nâng cao hiệu quả xử lý nitơ, với tải trọng hiện tại cần mở rộng phạm vi nghiên cứu việc tối ưu hóa cả ba giai đoạn: Đồng hóa, nitrat hóa và khử nitrat là then chốt để đạt được mục tiêu xả thải. Mặt khác, các kết quả nghiên cứu hiện tại có tiềm năng ứng dụng trực tiếp tại các trạm xử lý nước thải sinh hoạt hoặc chăn nuôi quy mô nhỏ. Việc triển khai thí điểm sẽ giúp kiểm chứng và tối ưu hóa quy trình trong điều kiện vận hành thực tế, từ đó khẳng định tính khả thi và tầm quan trọng của nghiên cứu này trong việc giải quyết vấn đề ô nhiễm nitơ.

Lời Cam Đoan

Tôi xin cam đoan rằng bài nghiên cứu này là công trình khoa học do nhóm tôi thực hiện một cách trung thực và nghiêm túc. Nội dung bài viết chưa từng được công bố trên bất kỳ tạp chí, hội thảo khoa học, hay diễn đàn học thuật nào khác

dưới bất kỳ hình thức nào. Tôi cũng cam kết rằng toàn bộ dữ liệu, kết quả nghiên cứu và các trích dẫn trong bài đều được thể hiện đúng quy định. Nếu có phát hiện sai phạm, tôi xin hoàn toàn chịu trách nhiệm.

Lời Cảm Ơn

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn khoản tài trợ nghiên cứu (Mã số: CS-SV24-MTTN-04) từ Trường Đại học Nông Lâm Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam. Nhóm nghiên cứu cũng xin cảm ơn Bộ môn Kỹ Thuật Trường Đại học Nông Lâm đã hỗ trợ nhóm trong trang thiết bị trong phòng thí nghiệm trong quá trình thực hiện nghiên cứu.

Tài Liệu Tham Khảo (References)

- Do, U. K. (2013). Study on the effect of aeration time on the efficiency of domestic wastewater treatment using SBR technology. *The University of Danang Journal of Science and Technology* 10(71), 62-66.
- Lam, T. M., & Tran, N. H. (2018). *Wastewater treatment volume 2*. Ha Noi, Vietnam: Construction Publishing House.
- Nguyen, H. T. (2023). *Great benefits from reusing livestock wastewater resources*. Retrieved May 17, 2025, from <https://tapchimoitruong.vn/dien-dan--trao-doi-21/loi-ich-lon-tu-tai-su-dung-tai-nguyen-nuoc-thai-chan-nuoi-28708>.
- Phan, T. K. T (2021). Study on ammonium conversion by activated sludge process with nitrification: laboratory scale experiment. *The University of Danang Journal of Science and Technology* 20(3), 12-17.
- Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., & Burton, F. L. (Eds.). (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). New York, USA: McGraw-Hill Education.
- Trinh, L. X. (2009). *Calculation and design of wastewater treatment facilities*. Ha Noi, Vietnam: Construction Publishing House.
- VOV (Voice of Vietnam). (2024). Minister Dang Quoc Khanh: Only 17% of domestic wastewater is treated. Retrieved May 21, 2025, from <https://vov.vn/chinh-tri/quoc-hoi/bo-truong-dang-quoc-khanh-chi-co-17-nuoc-thai-sinh-hoat-duoc-xu-ly-post1099350.vov>.