



DOI:10.22144/ctu.jvn.2023.060

ẢNH HƯỞNG CỦA THỜI GIAN LƯU NƯỚC ĐẾN HIỆU SUẤT XỬ LÝ NƯỚC THẢI SINH HOẠT BẰNG BỂ PHẢN ỨNG GIÁ THỂ DI ĐỘNG KẾT HỢP CỘT LỌC Màng TỰ CHẾ

Lê Hoàng Việt¹ và Nguyễn Võ Châu Ngân^{2*}

¹Bộ môn Kỹ thuật môi trường, Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

²Bộ môn Tài nguyên nước, Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Nguyễn Võ Châu Ngân (email: nvcngan@ctu.edu.vn)

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 22/10/2022

Ngày nhận bài sửa: 08/03/2023

Ngày duyệt đăng: 24/03/2023

Title:

Effect of hydraulic retention time on domestic wastewater treatment efficiency by the moving bed biofilm reactor and handmade membrane bioreactor

Từ khóa:

Bể MBBR, cột lọc màng, hiệu quả xử lý, nước thải sinh hoạt, thời gian lưu nước

Keywords:

Domestic wastewater, hydraulic retention time, membrane bioreactor, moving bed biofilm reactor, wastewater treatment efficiency

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the efficiency of domestic wastewater treatment using/applying a combined moving bed biofilm reactor (MBBR) and handmade membrane filter column operated at different hydraulic retention times (HRT). The laboratory scale of 45.54 L MBBR containing 40% K3 media and a membrane filter column made by groundwater filter column and tulle were used. The results showed that a loading rate of 0.47 kg BOD₅/m³/day to the MBBR, and loading rate to membrane filter column of 0.79 m³/m²/day, the HRT of 6 hours, the effluent wastewater met the QCVN 14:2008/BTNMT (column A) with BOD₅ treatment efficiency of 94.6%; COD of 86.6%; N-NH₄⁺ of 88.2%, and TP of 67.6%. For the HRT of 5 hours, the loading rate through MBBR of 0.77 kg BOD/m³/day, and through the membrane filter column of 0.95 m³/m²/day, the output wastewater reached QCVN 14:2008/BTNMT (column A), in which the BOD₅ treatment efficiency was 89.5%, COD 89.4%, N-NH₄⁺ 84.5%, and TP 57.6%. Therefore, the combined MBBR and handmade membrane filter column can be applied to treat domestic wastewater that reaches QCVN 14:2008/BTNMT (column A) at HRT of 5 hours.

TÓM TẮT

Nghiên cứu nhằm đánh giá hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt bể phản ứng giá thể di động (Moving bed biofilm reactor - MBBR) kết hợp với cột lọc màng tự chế ở những thời gian lưu nước khác nhau. Bể MBBR có thể tích 45,54 L chứa 40% giá thể K3, và cột lọc màng tự chế quy mô phòng thí nghiệm được sử dụng trong nghiên cứu. Kết quả cho thấy ở tải nạp vào bể MBBR là 0,47 kg BOD₅/m³/ngày, kết hợp tải nạp nước 0,79 m³/m²/ngày qua cột lọc màng, thời gian lưu nước 6 giờ, nước thải đầu ra đã đạt QCVN 14:2008/BTNMT (cột A) với hiệu suất xử lý BOD₅ đạt 94,6%, COD 86,6%, N-NH₄⁺ 88,2% và TP 67,6%. Ở thời gian lưu 5 giờ, tải nạp vào bể MBBR 0,77 kg BOD₅/m³/ngày, tải nạp nước qua cột lọc màng 0,95 m³/m²/ngày, các thông số chất lượng đầu ra vẫn đạt QCVN 14:2008/BTNMT (cột A), trong đó hiệu suất xử lý BOD₅ đạt 89,5%, COD 89,4%, N-NH₄⁺ 84,5% và TP 57,6%. Như vậy, bể MBBR kết hợp với cột lọc màng tự chế có thể ứng dụng xử lý nước thải sinh hoạt đạt QCVN 14:2008/BTNMT (cột A) ở thời gian lưu nước 5 giờ.

1. GIỚI THIỆU

Cùng với sự phát triển kinh tế - xã hội của đất nước, dân số ở các khu vực đô thị cũng tăng nhanh dẫn đến lượng nước thải sinh hoạt phát sinh ngày càng lớn. Tại một số khu vực, nước thải sinh hoạt phát sinh chưa được xử lý phù hợp nhưng vẫn xả thải trực tiếp ra môi trường. Nồng độ các thành phần ô nhiễm trong nước thải sinh hoạt cao gây ảnh hưởng xấu đến môi trường tiếp nhận và sức khỏe của cộng đồng dân cư xung quanh. Triết và ctv. (2008) ghi nhận xử lý nước thải bằng phương pháp sinh học có nhiều ưu điểm, nhưng hiệu quả xử lý phụ thuộc vào tải nạp, tốc độ tiêu thụ chất hữu cơ, các đường chất khác,...

Bể phản ứng giá thể di động (Moving bed biofilm reactor - MBBR) xử lý nước thải dựa vào sự hiện diện của lớp màng sinh học bám trên bề mặt các giá thể. Công nghệ MBBR được phát triển ở Na Uy từ thập niên 80 (Odegaard et al., 1994) và hoạt động dựa vào hệ vi sinh vật (VSV) ở trạng thái bám dính kết hợp với giá thể di động. Áp dụng công nghệ MBBR giá thể K1 xử lý nước thải sinh hoạt cho kết quả khả quan với hiệu suất xử lý COD đạt 81,7% và TN đạt 58,9% (Quỳnh, 2013). Sử dụng giá thể K3, Anh và ctv. (2017) xử lý nước thải sinh hoạt bằng bể MBBR cho hiệu suất xử lý 85,6% COD và 61,4% TN.

Yamamoto et al. (1989) đã thiết kế và đặt cột lọc màng vào bể phản ứng sinh học, sử dụng thiết bị tạo áp suất màng để duy trì khả năng lọc. Bố trí cột lọc màng trong bể xử lý nước thải hiếu khí có nhiều ưu điểm bởi lớp cặn và màng sinh học bám vào màng lọc được các bọt khí trong quá trình sục khí đánh bong ra. Đồng thời, cột lọc màng được gắn thêm một bộ phận rửa ngược làm giảm khả năng bị nghẹt. Nhờ đó cột lọc màng được ứng dụng khá phổ biến để xử lý nước thải.

Kết hợp bể MBBR và cột lọc màng có thể thay thế vai trò loại bỏ cặn của bể lọc nước đầu vào. Do đó, có thể bỏ bể lắng bậc hai giúp tiết kiệm diện tích xây dựng, chi phí lắp đặt và vận hành hệ thống xử lý nước thải. Cột lọc màng có thể sử dụng với nồng độ của hỗn hợp chất rắn lơ lửng (Mixed liquor suspended solids - MLSS) cao hơn hệ thống lọc thông thường, giúp giảm thể tích bể phản ứng (Zhang et al., 2017). Tawfik et al. (2010) kết hợp bể sinh học dòng chảy ngược qua tầng bùn yếm khí (Upflow Anaerobic Sludge Blanket - UASB) và bể MBBR để xử lý nước thải sinh hoạt cho hiệu suất xử lý COD tốt hơn nếu chỉ xử lý bằng bể UASB. Mai (2017) kết hợp quá trình xử lý sinh học liên tục sử dụng các hệ VSV yếm khí và hiếu khí (Anoxic Oxic - AO) và bể MBBR giá thể K3 để xử lý nước thải sinh hoạt đạt hiệu suất 93,1% COD, 96,2% BOD₅ và 87,7% TN.

Từ các ưu điểm của bể MBBR và cột lọc màng, nghiên cứu này nhằm khảo sát thời gian lưu nước (HRT) phù hợp để xử lý nước thải sinh hoạt, góp phần bảo vệ nguồn nước mặt ở các khu vực dân cư.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phương tiện nghiên cứu

2.1.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là nước thải sinh hoạt được thu từ cống thải hẻm 124, đường 3/2, phường Xuân Khánh, quận Ninh Kiều, thành phố Cần Thơ. Nước thu hàng ngày lúc 9 - 11 giờ sáng khi có nhiều hoạt động dân sinh.

Mô hình nghiên cứu được thiết kế để vận hành ở quy mô phòng thí nghiệm (Hình 1):

Bể MBBR (Hình 2, Bảng 1):

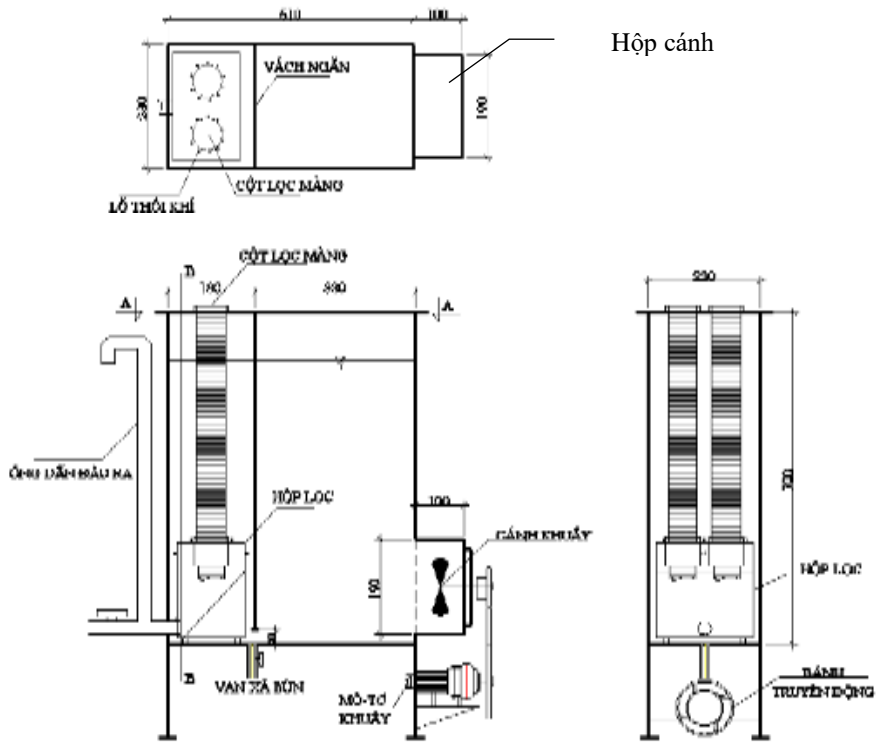
- Bể hình khối hộp chữ nhật, mặt trước sử dụng kính dày 8 mm trong suốt để quan sát quá trình vận hành.
- Hộp chứa cánh khuấy bằng sắt dày 5 mm, mô-tơ khuấy tốc độ 150 vòng/phút cố định bằng giá đỡ.

Cột lọc màng và hộp lọc (Hình 3, Bảng 2):

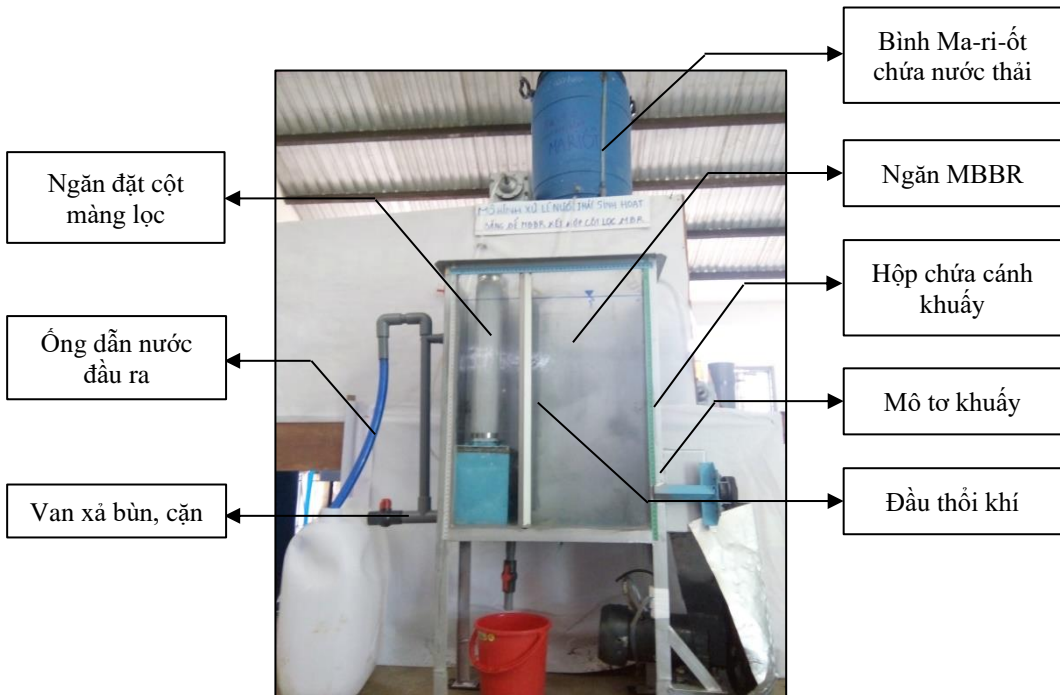
- Hai ống thu nước trung tâm: làm bằng ống lọc nước giếng PVC Ø 60 mm.
- Màng lọc: làm bằng vải tuyen 2 lớp (Hình 4) xen kẽ với 2 khung xương bằng lưới nhựa kích thước lỗ 1 cm.
- Hộp chứa khí và nước sau lọc: chế tạo bằng inox dày 2 mm.
- Các thiết bị phụ trợ bao gồm van T, co, ống nhựa PVC Ø27 mm, van bi, ống nhựa trong...

Các thành phần khác của mô hình:

- Mô-tơ khuấy: kết hợp với hệ thống sục khí tạo dòng chuyển động cho các giá thể trong bể phản ứng.
- Máy thổi khí: 1 máy công suất 120 W để tạo bọt khí trong hộp chứa cột màng lọc, và 1 máy 80 W cung cấp khí cho bể MBBR. Cả hai máy đều sử dụng van T để có thể điều chỉnh công suất cấp khí để đảm bảo cung cấp lượng oxy phù hợp theo yêu cầu thí nghiệm.
- Bình Mariotte: thể tích 80 L có van điều chỉnh lưu lượng nối với ống xả bằng nhựa trong đến bể phản ứng và van dẫn nước PVC đầu vào Ø27.
- Máy bơm nước thải: dùng để bơm nước thải trong thùng chứa lên bình Mariotte.
- Thùng chứa: dung tích 200 L dùng chứa nước thải để bơm lên bình Mariotte.



Hình 1. Các kích thước của mô hình bể MBBR kết hợp cột lọc màng



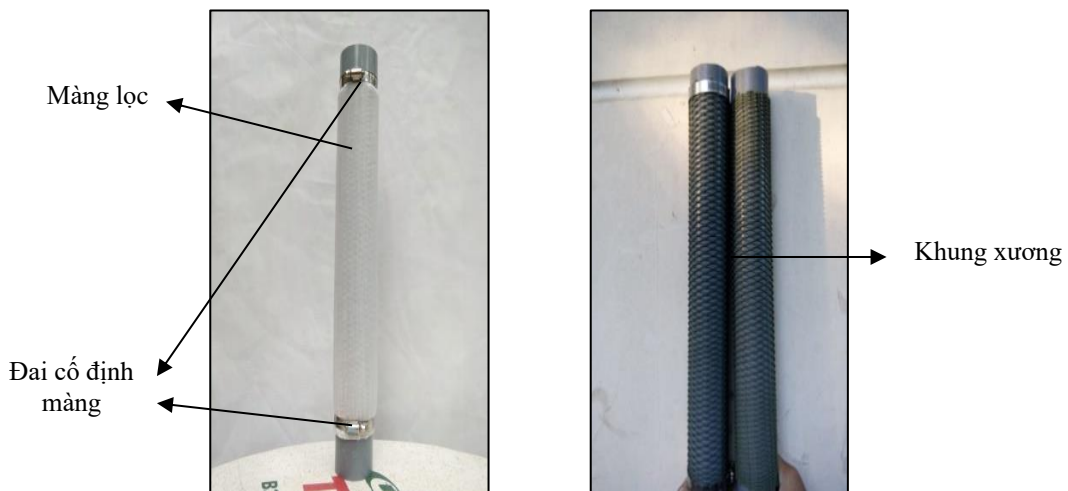
Hình 2. Bể MBBR kết hợp cột lọc màng tự chế trong thí nghiệm

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của bể MBBR và ngăn chứa cột lọc

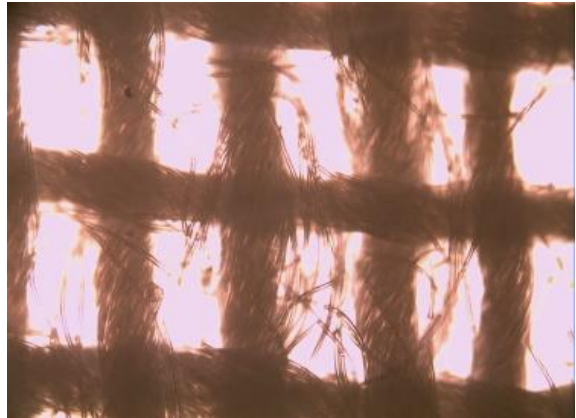
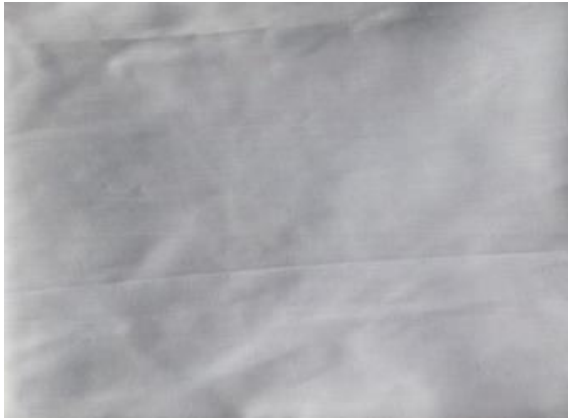
Thông số	Công thức	Giá trị
Kích thước tổng cộng mô hình		
Dài × rộng × cao	$D_{t\text{ổng}} \times R_{t\text{ổng}} \times H_{t\text{ổng}}$	$0,51 \times 0,23 \times 0,7 \text{ m}$
Thể tích bể	$V_{t\text{ổng}} = D_{t\text{ổng}} \times R_{t\text{ổng}} \times H_{t\text{ổng}}$	82 L
Ngăn bể phản ứng MBBR		
Dài × rộng × cao	$D_{\text{MBBR}} \times R_{\text{MBBR}} \times H_{\text{MBBR}}$	$0,33 \times 0,23 \times 0,7 \text{ m}$
Chiều cao ngập nước	$H_{\text{ngập}}$	0,6 m
Thể tích hoạt động	$V_{\text{hoạt động}} = D_{\text{MBBR}} \times R_{\text{MBBR}} \times H_{\text{ngập}}$	45,54 L
Hộp chứa cánh khuấy	Dài × rộng × cao	$19 \times 10 \times 10 \text{ cm}$
Ngăn chứa màng lọc		
Dài × rộng × cao	$D_{\text{cột lọc}} \times R_{\text{cột lọc}} \times H_{\text{cột lọc}}$	$0,23 \times 0,18 \times 0,6 \text{ m}$
Thể tích hoạt động	$V_{\text{hoạt động}} = D_{\text{cột lọc}} \times R_{\text{cột lọc}} \times H_{\text{cột lọc}}$	24,84 L
Chiều cao mỗi ống lọc	$H_{\text{ống lọc}}$	0,5 m

Bảng 2. Thông số thiết kế cột màng lọc

Thông số	Công thức	Giá trị
Hộp gắn cột lọc		
Cao × rộng	$H_{t\text{ổng}} \times R_{\text{hộp}}$	$0,2 \text{ m} \times 0,14 \text{ m}$
Chiều cao vùng chứa khí	$H_{\text{khí}}$	0,05 m
Chiều cao vùng chứa nước	$H_{\text{nước}}$	0,15 m
Khoảng cách giữa hai cột lọc	d	0,03 m
Màng lọc (vải tuyn)		
Kích thước lỗ trung bình	Dài × Rộng	$345,2 \pm 37,02 \mu\text{m} / 154,9 \pm 29,6 \mu\text{m}$
Dài × rộng	$D_{\text{màng}} \times R_{\text{màng}}$	$0,5 \text{ m} \times 0,23 \text{ m}$
Diện tích bề mặt màng	$A_{\text{màng}} = (R_{\text{màng}} \times D_{\text{màng}}) \times 2$	$0,23 \text{ m}^2$



Hình 3. Cột màng lọc tự chế từ ống lọc nước ngầm



Hình 4. Mẫu vải tuyền và kích thước của lỗ màng (chụp dưới kính hiển vi $\times 100$)

2.1.2. Loại giá thể thí nghiệm

Bể MBBR trong nghiên cứu này sử dụng giá thể nhựa di động K3 đã được thương mại hóa. Loại giá thể này có kích thước 25×10 mm, tỉ trọng 68 kg/m^3 tương đương 100.000 giá thể/ m^3 , diện tích bề mặt riêng là $510 \text{ m}^2/\text{m}^3$ (Bảng 3). Mật độ VSV trên một đơn vị thể tích lớn tạo điều kiện để phát triển cả ba nhóm vi sinh hiếu khí, thiếu khí, yếm khí làm tăng khả năng xử lý, giảm diện tích bể, tiết kiệm chi phí. Trong thí nghiệm này, mật độ giá thể được chọn đưa vào bể tiến hành thí nghiệm là 40% ở mức trung bình so với ngưỡng khuyến cáo 20 - 67% (Zhang et al., 2016; Goode, 2010) do nước thải sinh hoạt có mức ô nhiễm trung bình.

Bảng 3. Các đặc điểm của giá thể K3

Đặc điểm giá thể	Giá trị
Phần trăm thể tích chiếm chỗ	40%
Thể tích giá thể trong bể (K)	18,2 L
Phần trăm độ rỗng giá thể	82%
Thể tích chiếm chỗ của giá thể trong bể	3,82 L
Tổng diện tích bề mặt (A) giá thể	9,28 m^2
Thể tích nước sau khi cho giá thể vào bể	42,26 L
Tỷ lệ giữa $V_{\text{MBBR}} \text{hd}$ và $A_{\text{bề mặt}}$ của giá thể	4,9 L/m^2

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Các bước tiến hành thí nghiệm

a. Giai đoạn tạo màng sinh học cho giá thể

Nghiên cứu sử dụng bùn hoạt tính lấy từ bể hiếu khí của hệ thống xử lý nước thải tập trung ở Khu công nghiệp Trà Nóc 2, thành phố Cần Thơ để bổ sung nguồn VSV và rút ngắn thời gian tạo màng sinh học cho giá thể trong bể MBBR. Bùn hoạt tính lấy về được nuôi tăng sinh khối, sau đó cho bùn và giá thể vào bể phản ứng. Trong giai đoạn đầu, mô hình vận hành tạm thời với nước thải có chất ô nhiễm hữu cơ cao nhằm thúc đẩy quá trình tạo màng của VSV.

Vận hành bể MBBR để tạo màng cho giá thể K3 trong 14 ngày. Sau khoảng thời gian này, trên bề mặt giá thể xuất hiện lớp màng sinh học có màu từ vàng xám đến nâu sẫm (Phẩm, 2009). Sau khi lớp màng sinh học đã hình thành trên bề mặt giá thể, mô hình bể MBBR kết hợp cột lọc màng với nước thải sinh hoạt được vận hành.

b. Tiến hành thí nghiệm

Xử lý sơ bộ nước thải đầu vào

Nước thải sinh hoạt chảy qua lưới lọc để loại bỏ chất rắn có kích thước lớn và một phần chất rắn lơ lửng trước khi đưa vào mô hình thí nghiệm. Nước bơm lên bình Mariotte để đưa vào bể MBBR với lưu lượng định sẵn phù hợp với HRT chọn lựa. Các giá thể trong bể MBBR di chuyển nhờ các đầu thổi khí kết hợp với cánh khuấy giúp VSV tiếp xúc đều và phân hủy các thành phần ô nhiễm trong nước thải.

Nước thải chứa các chất rắn lơ lửng, các màng sinh học bong tróc và bùn lơ lửng chảy qua khe có lưới chắn đến ngăn chứa cột lọc màng. Tại đây các thành phần này bị giữ lại bên ngoài màng lọc và hình thành lớp màng sinh học giúp xử lý các chất ô nhiễm, đồng thời giữ lại một phần vi khuẩn. Phần nước trong sau khi lọc được thấm qua lớp màng lọc vào ống lọc nước và dẫn ra ngoài. Ở chân các cột lọc, các đầu thổi khí được bố trí để đánh tan các chất rắn, các chất lơ lửng, bông bùn hạn chế chúng bám trên bề mặt màng. Đồng thời, lớp bùn cặn trong bể sẽ được xả bỏ định kỳ nhằm giảm tối thiểu việc tắt nghẽn hệ thống màng lọc. Màng lọc bị nghẹt sẽ được rửa ngược bằng nước và khí để loại bỏ các thành phần bám trên màng trước khi tiếp tục vận hành hệ thống.

Xác định HRT

Trong nghiên cứu của Anh et al. (2012), nước thải sinh hoạt của thành phố Đà Lạt được xử lý bằng 2 bể

sinh học (bể thiếu khí, bể hiếu khí) có giá thể K3 chiếm 40% thể tích bể với HRT 5 giờ, tất cả chỉ tiêu đầu ra đều đạt QCVN 14:2008/BTNMT (cột B). Đề mô hình MBBR kết hợp cột lọc màng xử lý nước thải sinh hoạt đạt QCVN 14:2008/BTNMT (cột A), HRT 6 giờ được chọn cho thí nghiệm này.

Thí nghiệm được tiến hành với HRT 6 giờ, thu mẫu nước đầu ra phân tích chỉ tiêu COD để kiểm tra mô hình đã vận hành ổn định chưa. Nếu hiệu suất xử lý COD không có sự khác biệt lớn trong 3 ngày liên tiếp thì mẫu chính thức được thu để đánh giá hiệu suất xử lý đối với các thông số ô nhiễm khác.

Nếu các thông số ô nhiễm trong nước thải đầu ra đạt QCVN 14:2008/BTNMT (cột A) thì HRT được giảm còn 5 giờ và lặp lại thí nghiệm để đánh giá hiệu quả xử lý. Nếu các thông số ô nhiễm không đạt thì tăng thời gian lưu lên 7 giờ và tiếp tục thí nghiệm.

Bảng 4. Các phương pháp phân tích mẫu nước

Thông số	Phương pháp chuẩn
pH	Đo trực tiếp bằng máy đo Hanna 9812-5 (TCVN 6492:2011)
DO	Đo trực tiếp bằng máy Hanna HI 9814 (TCVN 4564:1988)
TSS	Phương pháp sấy (TCVN 6053:1995)
BOD ₅	Phương pháp chuẩn (TCVN 6001-2:2008)
COD	Phương pháp Dichromate (TCVN 6491:1999)
N-NH ₄ ⁺ (tính theo N)	Phương pháp Nessler (TCVN 5988:1995)
N-NO ₃ ⁻ (tính theo N)	Phương pháp khử Cadmi (TCVN 6494-1:2011)
TP	Phương pháp trắc quang UV-VIS (TCVN 6202:2008)
Tổng Coliform	Phương pháp MPN (TCVN 6187-2:1996)

Bảng 5. Đặc điểm, thành phần của nước thải thí nghiệm

Thông số ô nhiễm	Đơn vị tính	Nồng độ	QCVN 14:2008/BTNMT (cột A)
pH	-	6,77 ± 0,02	5,0 - 9,0
DO	mg/L	0,96 ± 0,05	-
TSS	mg/L	85,86 ± 27,56	50
BOD ₅	mg/L	179,58 ± 25,63	30
COD	mg/L	298,21 ± 56,09	75 *
N-NH ₄ ⁺ (tính theo N)	mg/L	42,02 ± 4,01	5
N-NO ₃ ⁻ (tính theo N)	mg/L	1,85 ± 0,89	30
TP	mg/L	6,26 ± 2,27	4 *
Tổng Coliform	MPN/100 mL	93 × 10 ⁶	3000

Ghi chú: * giá trị ghi nhận từ QCVN 40:2011/BTNMT (cột A)

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc tính nước thải sinh hoạt

Trước khi vận hành mô hình, nước thải được lấy từ cống xả của khu dân cư trong 3 ngày liên tiếp để đánh giá khả năng phân hủy sinh học. Nước thải có màu đen, mùi hôi, có váng dầu, chứa nhiều cặn lơ lửng, có bọt. Đặc điểm của nước thải sinh hoạt trình

2.2.2. Phân tích mẫu

Mẫu nước thải sinh hoạt đầu vào và đầu ra được lấy và phân tích các thông số pH, DO, TSS, BOD₅, COD, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, TP và tổng Coliform. Mẫu nước được phân tích tại Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng Cần Thơ tuân thủ các quy trình hướng dẫn bởi các tiêu chuẩn quốc gia về phân tích nước thải (Bảng 4).

Kết quả phân tích của mẫu nước thải đầu ra sẽ được đánh giá và so sánh với tiêu chuẩn xả thải của QCVN 14:2008/BTNMT Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước thải sinh hoạt (cột A). Đối với những thông số ô nhiễm không được quy định tại QCVN 14:2008/BTNMT, tiến hành so sánh với cột A của QCVN 40:2011/BTNMT Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước thải công nghiệp.

bày trong Bảng 5. Các thông số ô nhiễm của nước thải phù hợp để xử lý sinh học bằng bể MBBR.

– pH của nước thải là 6,8 nằm trong khoảng 6,5 - 8,5 thích hợp cho hoạt động của VSV (Việt & Ngân, 2015).

– Tỷ lệ BOD₅/COD = 0,6 > 0,5 thích hợp cho xử lý sinh học (Việt & Ngân, 2015).

– Tỷ lệ BOD₅ : N : P = 179,58 : 43,87 : 6,26 = 100 : 24,43 : 3,49 ≠ 100 : 5 : 1 (Việt & Ngân, 2015). Nếu tính cả hàm lượng ni-tơ hữu cơ trong nước thải sinh hoạt thì giá trị tổng N càng lớn cho thấy lượng dưỡng chất trong nước thải thí nghiệm khá cao và cần có HRT phù hợp để loại bỏ.

– Hàm lượng N-NO₃⁻ khá thấp do đây là nguồn nước thải thô chưa xảy ra quá trình chuyển hóa amoni thành nitrate.

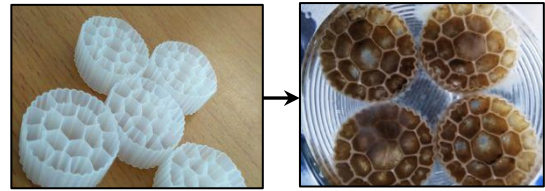
– Hàm lượng TSS nước thải đầu vào < 150 mg/L phù hợp đưa vào bể xử lý sinh học mà không cần lắng sơ cấp (Việt & Ngân, 2014).

3.2. Kết quả thí nghiệm

3.2.1. Theo dõi sự ổn định của màng sinh học

Sau 14 ngày vận hành, màng sinh học đã hình thành trên giá thể biểu hiện qua một lớp màng nhớt và có màu nâu. Để đánh giá bể đã hoạt động ổn định chưa, nước thải đầu vào và đầu ra của bể được thu trong 5 ngày liên tiếp và phân tích COD. Nồng độ COD của nước thải đầu vào biến động khá lớn 298,21

± 56,09 mg/L nhưng trong nước thải đầu ra biến động nhỏ 32,27 ± 3,82 mg/L. Điều này cho thấy hệ VSV trong bể đã hình thành lớp màng sinh học tương đối ổn định để thực hiện thí nghiệm.



Hình 6. Giá thể K3 trước và sau khi tạo màng sinh học

Trong nghiên cứu này, mô hình thí nghiệm vận hành tốt và cho hiệu suất xử lý cao ở HRT 6 giờ, nước thải sau xử lý đạt yêu cầu xả thải theo cột A của QCVN 14:2008/BTNMT. Do đó, mô hình được tiếp tục vận hành ở HRT 5 giờ để đánh giá hiệu suất xử lý. Các thông số vận hành của bể MBBR kết hợp cột lọc màng với các HRT khác nhau được trình bày trong Bảng 6.

Bảng 6. Các thông số vận hành của mô hình thí nghiệm

Thông số vận hành	Công thức	HRT 6 giờ	HRT 5 giờ
DO (mg/L)		2,3 - 2,5	2,3 - 2,5
Lưu lượng nạp nước Q (m ³ /ngày)	$Q = \frac{V}{\theta}$	0,182	0,219
Tải nạp nước của bể MBBR (m ³ /m ² /ngày)	$q = \frac{Q}{A_{giáthể}}$	0,02	0,024
Tải nạp nước bề mặt của màng lọc (q _{màng}) (m ³ /m ² /ngày)	$q_{màng} = \frac{Q}{A_{màng}}$	0,79	0,95
Tải nạp BOD trung bình trên diện tích bề mặt giá thể của bể MBBR (g BOD/m ² .ngày)	$L_{diện tích} = \frac{Q \times BOD_{vào}}{A_{giáthể}}$	2,29	3,78
Tải nạp BOD trung bình trên thể tích hoạt động của bể MBBR (kg BOD/m ³ .ngày)	$L_{thể tích} = \frac{Q \times BOD_{vào}}{V_{hoạt động}}$	0,47	0,77

Chú thích: θ : thời gian lưu nước (giờ)

$A_{giáthể}$: diện tích bề mặt giá thể (m²)

$A_{màng}$: diện tích bề mặt màng lọc (m²)

$V_{hoạt động}$: thể tích hoạt động của bể MBBR (m³)

$BOD_{vào}$: nồng độ BOD của nước thải đầu vào (kg/m³)

3.2.2. Hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt của mô hình thí nghiệm

Sau khi mô hình đã hoạt động ổn định, tiến hành lấy mẫu nước thải đầu vào và đầu ra của mô hình để phân tích các chỉ tiêu theo dõi trong 3 ngày liên tiếp. Kết quả phân tích các thông số ô nhiễm của mô hình ở hai HRT trình bày trong Hình 7 và 8.

Nước thải sau xử lý có giá trị pH tăng so với pH của nước thải đầu vào cho thấy quá trình khử nitrate trong mô hình diễn ra khá tốt. Giá trị pH của nước thải trong cả hai thí nghiệm tăng nhưng vẫn nằm trong khoảng cho phép từ 5,0 đến 9,0 theo QCVN 14:2008/BTNMT (cột A).

Nồng độ DO trong bể được duy trì từ 2,3 đến 2,5 mg/L để cung cấp oxy cho hoạt động của hệ VSV. Khi oxy khuếch tán từ nước vào trong lớp màng sinh

học, lượng oxy giảm xuống dưới 1 mg/L tạo điều kiện thiếu khí giúp quá trình khử nitrate diễn ra chuyển hóa NO_3^- thành N_2 và tạo alkalinity đưa vào nước thải làm tăng pH (Triết & Việt, 2009).

Giá trị TSS trong nước đầu ra giảm thấp chỉ còn $0,57 \pm 0,15$ mg/L và $1,20 \pm 0,17$ mg/L lần lượt cho HRT 6 giờ và 5 giờ, đạt cột A theo QCVN 14:2008/BTNMT. Hiệu suất loại TSS từ 97,3% đến 98,3% rất cao nhờ quá trình hấp phụ các chất rắn lơ lửng trong nước thải trên bề mặt màng sinh học và các VSV phân hủy chúng để tổng hợp các tế bào mới. Bên cạnh đó, việc giữ lại chất rắn lơ lửng bởi lớp màng lọc và hấp thụ trên lớp màng sinh học bên ngoài màng lọc cũng góp phần làm giảm đáng kể lượng TSS trong nước thải sau xử lý.

Giá trị BOD_5 trong nước thải đầu ra giảm mạnh so với đầu vào chỉ còn $6,37 \pm 3,65$ mg/L (HRT 6 giờ) và $16,83 \pm 3,92$ mg/L (HRT 5 giờ). Hiệu suất loại bỏ BOD_5 rất cao đạt 89,5 - 94,6% tương đương với hiệu suất 96,2% ghi nhận bởi Mai (2017) khi kết hợp bể AO và bể MBBR. Tương tự, hiệu suất loại bỏ COD khá cao đạt 86,6 - 89,4%, cao hơn giá trị 85,6% (Anh và ctv., 2017) và 81,7% (Quỳnh, 2013) khi chỉ sử dụng bể MBBR với các thông số vận hành tương tự. Hiệu suất loại bỏ COD của nghiên cứu này cũng cao hơn mức 80 - 86% khi xử lý nước thải sinh hoạt bằng bể UASB kết hợp MBBR (Tawfik et al., 2010), nhưng thấp hơn hiệu suất 93,1% khi kết hợp bể AO và bể MBBR (Mai, 2017). Nồng độ BOD_5 và COD trong nước thải sau xử lý đạt tiêu chuẩn xả thải QCVN 14:2008/BTNMT (cột A). Hiệu quả loại bỏ BOD_5 và COD cao do quá trình phân hủy các chất ô nhiễm bởi VSV trong màng sinh học tạo các chất khí, đồng thời VSV đồng hóa các chất để tổng hợp các tế bào mới (Việt & Ngân, 2014). Bên cạnh đó, việc giữ lại chất rắn lơ lửng bởi lớp màng lọc và hấp thụ trên lớp màng sinh học bên ngoài màng lọc cũng góp phần làm giảm đáng kể nồng độ BOD_5 và COD.

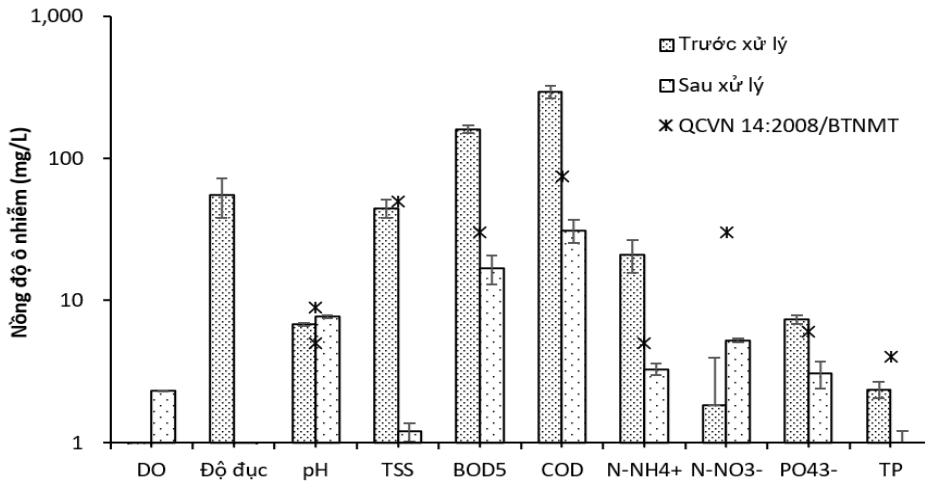
Giá trị N-NH_4^+ trong nước thải đầu ra giảm còn $2,78 \pm 0,21$ mg/L (HRT 6 giờ) và $3,28 \pm 0,31$ mg/L (HRT 5 giờ) là do một phần đạm amoni chuyển hóa thành đạm nitrate, một phần khác được các VSV dị dưỡng chuyển hóa vào bên trong tế bào để tổng hợp

thành tế bào vi khuẩn mới (Việt & Ngân, 2016). Giá trị N-NH_4^+ trong nước thải đầu ra ở cả hai HRT đều đạt tiêu chuẩn xả thải theo cột A của QCVN 14:2008/BTNMT với hiệu suất loại bỏ từ 84,5% đến 88,2%. Nghiên cứu xử lý nước thải sinh hoạt bằng bể AO kết hợp bể MBBR ghi nhận hiệu suất xử lý TN tương đương đạt 87,7% (Mai, 2017). Tuy nhiên, hiệu suất xử lý TN của các nghiên cứu xử lý nước thải sinh hoạt chỉ bằng bể MBBR thấp hơn, đạt 61,4% với giá thể K3 (Anh và ctv., 2017) và 58,9% với giá thể K1 (Quỳnh, 2013).

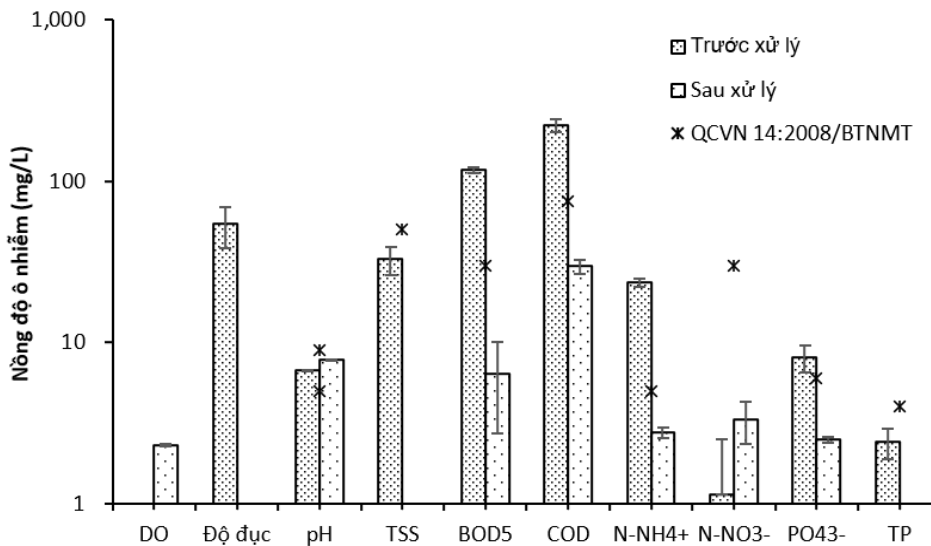
Giá trị TP trong nước thải đầu ra giảm còn $0,78 \pm 0,03$ mg/L (HRT 6 giờ) và $1,0 \pm 0,22$ mg/L (HRT 5 giờ). Như vậy, TP được xử lý khá tốt với hiệu suất từ 57,6 đến 67,6%, đạt tiêu chuẩn xả thải theo QCVN 14:2008/BTNMT (cột A). Nồng độ TP giảm là do quá trình xử lý các VSV trong màng sinh học hấp thụ để tổng hợp các tế bào mới (Việt & Ngân, 2015).

Tuy hiệu suất loại bỏ Coliform rất cao đạt 99,9% và 99,2% lần lượt cho HRT 6 giờ và 5 giờ nhưng lượng Coliform trong nước thải sau xử lý vẫn chưa đạt yêu cầu xả thải của QCVN 14:2008/BTNMT (cột A), cần được tiếp tục xử lý trước khi thải ra nguồn tiếp nhận. Giá trị Coliform giảm do các VSV một phần bị giữ lại trên màng sinh học, ngoài ra chúng bị các nguyên sinh động vật trong bể sử dụng làm thức ăn.

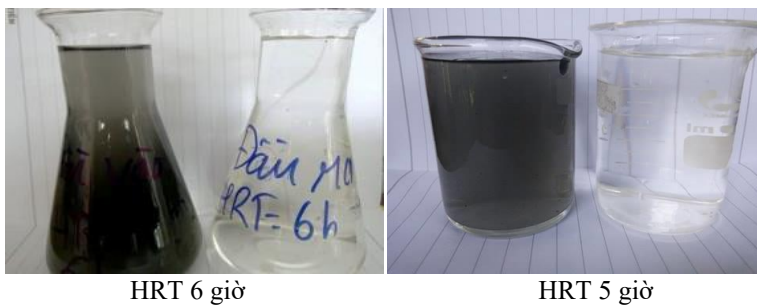
Bên cạnh những yếu tố ảnh hưởng đến hiệu suất xử lý nước thải như đã trình bày ở từng thông số ô nhiễm cụ thể, giá trị HRT cũng có ảnh hưởng đến hiệu suất xử lý nước thải. Trong nghiên cứu này, thí nghiệm với HRT 6 giờ có thời gian tiếp xúc giữa các giá thể và nước thải kéo dài hơn thí nghiệm với HRT 5 giờ, từ đó gia tăng hiệu quả loại bỏ chất ô nhiễm (Hình 9). Nghiên cứu của Andreottola et al. (2003) trên bể MBBR ghi nhận hiệu quả xử lý COD bị ảnh hưởng bởi HRT và thông thường HRT cao hơn 5 giờ cho hiệu quả cao hơn so với HRT thấp. Nghiên cứu của Tawfik et al. (2010) cũng đề nghị kéo dài HRT lên đến 13,3 giờ khi kết hợp bể UASB và bể MBBR để xử lý nước thải sinh hoạt.



Hình 7. Nồng độ các thành phần ô nhiễm của nước thải thí nghiệm ở HRT 5 giờ



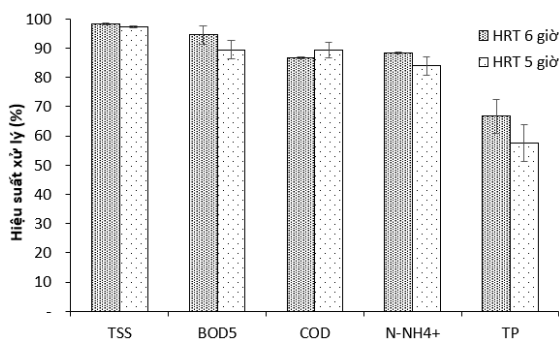
Hình 8. Nồng độ các thành phần ô nhiễm của nước thải thí nghiệm ở HRT 6 giờ



Hình 9. Mẫu nước thải trước và sau khi xử lý ở các HRT khác nhau

Hình 10 ghi nhận giá trị trung bình hiệu suất xử lý các thông số ô nhiễm của mô hình thí nghiệm. Kết quả cho thấy mặc dù hiệu suất xử lý TP trong nước thải không cao so với các thông số ô nhiễm khác,

tuy nhiên có sự khác biệt giữa hai thí nghiệm với HRT khác nhau.



Hình 10. Trung bình hiệu suất xử lý các thông số ô nhiễm của mô hình thí nghiệm

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Phương pháp xử lý bằng bể MBBR kết hợp với cột lọc màng là khả thi đối với nước thải sinh hoạt và có hiệu quả xử lý cao. Hiệu suất xử lý các thông số ô nhiễm của mô hình nghiên cứu khá cao đạt từ 68,9% đến 99,9% cho thí nghiệm với HRT 6 giờ, và từ 57,6% đến 99,2% cho thí nghiệm với HRT 5 giờ. Khi vận hành mô hình ở HRT 6 giờ thì tất cả các

thông số ô nhiễm trong nước thải đầu ra đạt yêu cầu xả thải QCVN 14:2008/BTNMT (cột A), nhưng khi vận hành với HRT 5 giờ thì còn thông số N-NH₄⁺ chưa đạt ngưỡng xả thải cho phép.

Để triển khai ứng dụng mô hình vào thực tế, cần chú ý việc vận hành với nước thải trực tiếp khó đạt hiệu suất xử lý tương đương với kết quả thu được trong phòng thí nghiệm. Vì vậy, để đảm bảo tính tin cậy và ổn định của mô hình nên chọn HRT 6 giờ để xử lý nước thải sinh hoạt khi ứng dụng thực tế.

Ngoài ra, cần tiến hành nghiên cứu thêm một số thông số vận hành khác như tuổi bùn, mật độ bùn, thời gian cần thực hiện rửa ngược tránh hiện tượng nghẹt cột lọc màng.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sinh viên Võ Hữu Đắc, Phạm Minh Trí - lớp Kỹ thuật Môi trường K40 đã trực tiếp hỗ trợ tiến hành các thí nghiệm của nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Andreottola, G., Foladori, P., Gatti, G., Nardelli, P., Pettena, M., & Ragazzi, M., (2003). Upgrading of a small overloaded activated sludge plant using a MBBR system. *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances Environmental Engineering*, 38(10), 2317–2328. <https://doi.org/10.1081/ESE-12002338>

Anh, L. Đ., Minh, L. T., Lộc, & Đ. V. (2012). *Nghiên cứu ứng dụng công nghệ moving bed biofilm reactor (MBBR) xử lý nước thải sinh hoạt Trường Đại học Yersin Đà Lạt*. Thông tin khoa học Trường Đại học Yersin Đà Lạt.

Goode, C. (2010). *Understanding biosolids dynamics in a moving bed biofilm reactor*. Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry, University of Toronto.

Mai, N. T. (2017). Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ “Nghiên cứu ứng dụng thiết bị nguyên khối sử dụng màng sinh học lơ lửng (MBBR) để xử lý nước thải sinh hoạt”. Viện khoa học An toàn và Vệ sinh lao động.

Odegaard, H., Hem, L.J., & Rusten, B. (1994). *Nitrification in a moving bed biofilm reactor*. Department of Hydraulic and Environmental Engineering, The Norwegian Institute of Technology, University of Trondheim.

Phẩm, L. Đ. (2007). *Công nghệ xử lý nước thải bằng biện pháp sinh học*. NXB Giáo dục.

Quỳnh, P. H. (2013). Nghiên cứu xử lý nước thải sinh hoạt bằng giá thể vi sinh di động. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên*, 107(7), 143–147.

Tawfik, A., Gohary, F. El, & Temmink, H. (2010). Treatment of domestic wastewater in an up-flow anaerobic sludge blanket reactor followed by moving bed biofilm reactor. *Bioprocess Biosyst Eng* 33, 267–276. <https://doi.org/10.1007/s00449-009-0321-1>

Triết, L. M., & Việt, L. H. (2009). *Vi sinh vật và nước thải*. NXB Xây dựng.

Việt, L. H., & Ngân, N. V. C. (2015). *Giáo trình Vi sinh vật kỹ thuật môi trường*. NXB Đại học Cần Thơ.

Việt, L. H., & Ngân, N. V. C. (2014). *Giáo trình Kỹ thuật xử lý nước thải*. NXB Đại học Cần Thơ.

Yamamoto, K., Hiasa, M., Mahmood, T., & Matsuo, T. (1989). Direct solid-liquid separation using hollow fiber membrane in an activated-sludge aeration tank. *Water Science and Technology* 21, 43–54. <https://doi.org/10.2166/wst.1989.0209>

Zhang, X., Chen, X., Zhang, C., Wen, H., Guo, W., & Ngo, H. H. (2016). Effect of filling fraction on the performance of sponge-based moving bed biofilm reactor. *Bioresour Technol* 219, 762–767. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.08.031>

Zhang, W., Bing, T., & Lyng, B. (2017). Research progress in biofilm-membrane bioreactor BF-MBR - A critical review. *Ind. Eng. Chem. Res.* 56 (24), 6900–6909. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.7b00794>