

**CÁC THÔNG SỐ CỦA QUÁ TRÌNH LỌC SINH HỌC XỬ LÝ
NƯỚC THẢI ĐÔ THỊ TỪ HỆ THỐNG THOÁT NƯỚC CHUNG:
KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM TẠI THÀNH PHỐ ĐÀ NẴNG**

**THE PARAMETERS OF BIOFILTER IN MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT
FROM COMBINE SEWAGE SYSTEM: EXPERIMENTS AND RESULTS IN DANANG CITY**

Trần Hà Quân, Võ Đình Pho, Phan Thị Kim Thủy, Trần Văn Quang
Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng; haquan_891300@yahoo.com

Tóm tắt - Lọc sinh học là một trong những công nghệ xử lý nước thải đã và đang được áp dụng tại nhiều nước trên thế giới nhờ các ưu điểm về chi phí, vận hành hay hiệu suất xử lý. Tuy nhiên tại Việt Nam, với nước thải đô thị từ hệ thống thoát nước chung có nồng độ các chất ô nhiễm thấp và thay đổi theo mùa, các nhà máy xử lý nước thải chỉ sử dụng công nghệ bùn hoạt tính, mà chưa áp dụng công nghệ lọc sinh học cho quá trình xử lý nước thải. Mô hình lọc sinh học được vận hành theo các thông số chiều cao vật liệu lọc và tải lượng chất hữu cơ khác nhau, nhằm đánh giá hiệu suất xử lý cùng với khả năng áp dụng của công nghệ cho quá trình xử lý nước thải đô thị. Các kết quả nghiên cứu cho thấy, với tải lượng chất hữu cơ dưới 1 kg BOD/m³.ng và chiều cao vật liệu lọc trên 2m đã đảm bảo được hiệu suất khử BOD trên 60% và chất lượng nước sau xử lý đạt cột A của QCVN40:2011/BTNMT.

Từ khóa - Đà Nẵng; lọc sinh học; nước thải đô thị; thoát nước chung; xử lý nước thải.

1. Đặt vấn đề

Lọc sinh học là phương pháp xử lý nước thải được áp dụng lần đầu tiên cho nước thải đô thị vào năm 1912 và được xây dựng, phát triển trong suốt thế kỷ 20 đến nay [1]. Trong quá trình lọc, các chất hữu cơ, dinh dưỡng (Nito, Photpho) có trong thành phần nước thải được vi sinh vật hấp thụ, chuyển hóa thành nước và các loại khí đơn giản (CO₂, NO₂, N₂,...) thông qua các quá trình oxy hóa, tổng hợp và hô hấp nội bào diễn ra trên bề mặt vật liệu lọc [4]. So với các phương pháp xử lý bằng bùn hoạt tính, quá trình lọc sinh học có các ưu điểm: vận hành dễ dàng, đơn giản, tiết kiệm năng lượng,... và việc kiểm soát các hạn chế: quản

Abstract - Biofilter is a wastewater treatment technology that has been applied in many countries around the world with many advantages in cost, operation process, and treatment performance. However, in Vietnam, with the municipal wastewater from combined sewerage system having low concentrations of pollutants and being depended on season, the wastewater treatment plants only use active sludge technology and haven't applied biological filtration for wastewater treatment. The model of biofilter is operated with different organic loadings and depth of filter medium to evaluate the performance of the treatment process and its ability to be applied to municipal wastewater. The proposed parameters of biofilters with organic loadings lower than 1 kg BOD/m³.d and depth of filter medium more than 2m, the BOD removal rate is higher than 60% and the quality of treated water reaches the column A, QCVN40: 2011/BTNMT.

Key words - Danang city; biofilter; municipal wastewater; combined sewerage system; wastewater treatment.

lý lượng màng sinh vật rửa trôi, sự tắc nghẽn, phát sinh mùi hôi và côn trùng bằng việc thay thế vật liệu lọc truyền thống (đá, xỉ) bằng các khối plastic dạng tấm và dạng ống [2,3]. Lọc sinh học đã được ứng dụng rộng rãi hơn trong xử lý nước thải đô thị và công nghiệp.

Các thông số tính toán thiết kế bể lọc sinh học bao gồm: loại vật liệu và chiều cao lớp vật liệu lọc (H), tải trọng thủy lực hay tải trọng tưới (q) và tải trọng chất hữu cơ (OL) [2]. Hiệu suất xử lý chất hữu cơ (E_{BOD}) và các thông số vận hành các loại bể lọc trong thực tiễn ở các nước phát triển, được thống kê và trình bày ở Bảng 1 [4].

Bảng 1. Các thông số của các loại bể lọc sinh học

Bể lọc	Vật liệu	H, m	q, m ³ /m ² .ngđ.	OL, kg BOD/m ³ .ngđ.	E _{BOD} , %
Thấp tải	Đá và xỉ	1,8 ÷ 2,4	1 ÷ 4	0,07 ÷ 0,22	80 ÷ 90
Trung bình	Đá và xỉ	1,8 ÷ 2,4	4 ÷ 10	0,24 ÷ 0,48	50 ÷ 70
Cao tải	Đá	1,8 ÷ 2,4	10 ÷ 40	0,40 ÷ 2,40	65 ÷ 85
Siêu cao tải	Plastic khối	3,0 ÷ 12	10 ÷ 75	0,60 ÷ 3,20	65 ÷ 80

Hệ thống thoát nước ở các đô thị ở Việt Nam chủ yếu là hệ thống thoát nước chung, nước thải từ các hộ gia đình và các hoạt động khác cùng với nước mưa được thu gom trong cùng mạng lưới cống và được đưa về các nhà máy xử lý nước thải tập trung. Nồng độ các chất ô nhiễm trong nước thải đô thị khi đưa về trạm xử lý thấp: giá trị BOD trung bình là khoảng 60mg/l và của N-NH₄ là khoảng 10mg/l. Khi mưa lớn, nồng độ các chất ô nhiễm nhỏ. Giá trị trung bình của BOD là khoảng 20mg/l và của N-NH₄ là khoảng 0,5mg/l, được xả tràn ra nguồn tiếp nhận [6].

Công nghệ xử lý được áp dụng tại các nhà máy xử lý nước thải đô thị ở Việt Nam, chủ yếu là quá trình bùn hoạt tính và các dạng cải tiến: bùn hoạt tính truyền thống (CAS), Kỵ khí – Thiếu khí – Hiếu khí (A2O), bể phản ứng sinh học hoạt động theo mẻ (SBR) và mương oxy hóa tuần hoàn (OD). Trong 17 nhà máy xử lý nước thải đã hoạt động tại Việt Nam, chỉ có nhà máy xử lý nước thải Đà Lạt áp dụng công nghệ lọc sinh học cho nước thải đô thị từ hệ thống thoát nước riêng (với giá trị BOD là 380mg/l và N-NH₄ là 68mg/l) và có chi phí vận hành, bảo dưỡng thấp hơn so với

các nhà máy áp dụng công nghệ bùn hoạt tính từ 2 đến 3 lần (chi phí của nhà máy xử lý nước thải Đà Lạt là 1100 VNĐ/m³ nước thải) [6].

Thành phố Đà Nẵng có 4 nhà máy XLNT với công nghệ áp dụng là hồ kỵ khí đơn giản, do vấn đề ô nhiễm mùi, chính quyền đang có kế hoạch cải tạo và đang được thí điểm bằng công nghệ SBR. Với nước thải có nồng độ các chất ô nhiễm thấp, thay đổi theo mùa: chất lơ lửng (TSS) dao động trong khoảng từ 36-196mg/l, chất hữu cơ: BOD 15-110mg/l và COD 22-205mg/l, chất dinh dưỡng: N-NH₄ 1,1- 18,5mg/l và P-PO₄ 0,4-7,5mg/l [8], việc áp dụng công nghệ có chi phí vận hành cao xử lý nước thải có nồng độ chất ô nhiễm thấp và thay đổi theo mùa sẽ làm giảm đáng kể hiệu quả của nguồn vốn đầu tư và tính bền vững trong quản lý nước thải đô thị [6].

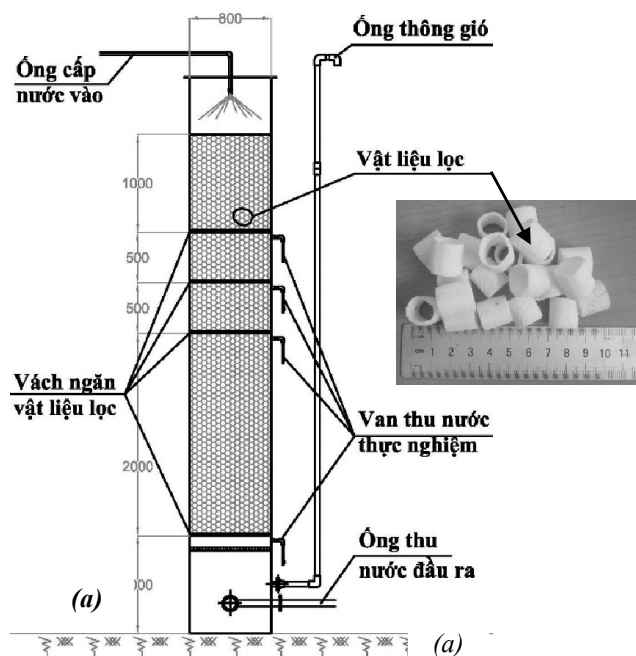
Với mục đích có được công nghệ xử lý nước thải đô thị có chi phí thấp, phù hợp với đặc điểm nước thải từ hệ thống thoát nước chung cho các đô thị Việt Nam, việc triển khai

các nghiên cứu áp dụng công nghệ lọc sinh học vào thực tiễn là rất cần thiết. Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu xác định các thông số cơ bản của quá trình lọc sinh học trong điều kiện thực tiễn với nước thải đô thị thành phố Đà Nẵng tại nhà máy XLNT Phú Lộc, thành phố Đà Nẵng, Việt Nam.

2. Vật liệu và phương pháp

2.1. Vật liệu

Mô hình bể lọc sinh học được làm bằng vật liệu composit, có chiều cao 5m, đường kính 0,8m và chiều dày lớp vật liệu lọc bên trong có thể thay đổi từ 1m đến 4m bằng các vách ngăn di động và bên ngoài mô hình lắp đặt các ống thu nước sau lọc sinh học ở các vị trí tương ứng với các lớp chiều cao vật liệu lọc bên trong. Vật liệu lọc được làm từ polyetylen có đường kính 15mm, dài 15mm, diện tích riêng bề mặt 290m²/m³ và độ rỗng 85% [7, 8]. Chi tiết của bể lọc sinh học, vật liệu lọc và pilot thực nghiệm tại nhà máy xử lý nước thải Phú Lộc được trình bày ở Hình 1.



Hình 1. Mô hình thực nghiệm: (a) Mặt cắt mô hình và vật liệu lọc; (b) Mô hình bể lọc sinh học tại nhà máy XLNT Phú Lộc

2.2. Phương pháp

Vận hành mô hình

Mô hình được vận hành liên tục từ tháng 3/2014 đến tháng 3/2015 với nước thải được lấy trực tiếp từ mương thu nước thải đô thị của nhà máy xử lý nước thải Phú Lộc, thành phố Đà Nẵng. Sau khi loại bỏ các tạp chất có kích thước lớn bằng song chắn rác và tách các tạp chất không tan, lơ lửng có kích thước lớn bằng phương pháp cơ học, nước thải được bơm và tưới liên tục lên khối vật liệu lọc. Nước sau làm sạch sinh học được thu gom và đưa sang bể lắng đợt II [7].

Để có được mối quan hệ giữa hiệu suất xử lý theo tải trọng chất hữu cơ và chiều cao lớp vật liệu lọc, bể lọc sinh học được vận hành với hai mức lưu lượng là 0,5 và 1 m³/h và chiều cao lớp vật liệu lọc được thay đổi giảm dần từ 4m đến 1m. Các thông số liên quan đến nội dung các thực nghiệm, được trình bày chi tiết ở Bảng 2.

Bảng 2. Các thông số thực nghiệm

Thực nghiệm	Thời gian	Q, m ³ /h	H, m	q, m ³ /m ² .ng
1	9 tuần	1,0	4,0	48
2	9 tuần	1,0	2,0	48
3	9 tuần	1,0	1,5	48
4	9 tuần	0,5	1,5	24
5	4 tuần	0,5	1,0	24

2.2.1. Quan trắc chất lượng nước

Khi mô hình hoạt động ổn định (khoảng thời gian từ 1 đến 2 tuần sau khi thay đổi thông số vận hành), tiến hành quan trắc, lấy mẫu nước của dòng vào và ra của bể lọc sinh học. Các thông số quan trắc bao gồm: nhiệt độ, DO được thực hiện hằng ngày bằng các thiết bị đo nhanh và TSS, BOD₅, COD, N-NH₄, P-PO₄, được lấy mẫu 3 lần trong tuần [3, 4]. Việc phân tích xác định nồng độ các thông số này

được thực hiện tại thí nghiệm của Trung tâm Nghiên cứu Bảo vệ Môi trường, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng theo các phương pháp tiêu chuẩn [1, 2].

2.2.2. *Đánh giá*

Hiệu suất xử lý các chất hữu cơ và khả năng chuyển hóa các chất dinh dưỡng được tính toán, xác định từ các số liệu quan trắc nồng độ BOD và N-NH₄ trong dòng nước vào và ra khỏi bể lọc sinh học trong thời gian vận hành. Các thông số tải trọng chất hữu cơ, chiều cao lớp vật liệu lọc, kiến nghị áp dụng và khả năng áp dụng quá trình lọc sinh học vào xử lý nước thải từ hệ thống thoát nước chung được xác định trên cơ

sở so sánh chất lượng nước sau xử lý với các giá trị tương ứng trong cột A, quy chuẩn kỹ thuật QCVN 40:2011/BTNMT.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. *Ảnh hưởng của chiều cao vật liệu lọc và tải lượng chất hữu cơ đến hiệu suất xử lý*

Các kết quả thực nghiệm: tải trọng chất hữu cơ, khoảng dao động nồng độ chất hữu cơ và dinh dưỡng (BOD₅, N-NH₄) và giá trị trung bình trong dòng vào và ra, hiệu suất xử lý chất hữu cơ và chuyển hóa Amôni của bể lọc sinh học được trình bày ở Bảng 3.

Bảng 3. Hiệu suất xử lý các chất ô nhiễm trong các thực nghiệm

Thực nghiệm	OL, KgBOD/m ³ .ngđ	Nồng độ chất ô nhiễm, mg/l				Hiệu suất, %	
		BOD		N-NH ₄		BOD	N-NH ₄
		Khoảng	Trung bình	Khoảng	Trung bình		
1	0,61	37 ÷ 81	51,28	2,23 ÷ 4,72	3,69	65,02	68,18
2	1,01	34 ÷ 52	41,92	2,61 ÷ 4,40	3,40	59,63	64,98
3	1,62	37 ÷ 66	50,84	2,72 ÷ 3,36	2,92	47,45	56,01
4	0,63	35 ÷ 45	40,17	2,80 ÷ 4,90	3,49	64,31	60,61
5	1,13	45 ÷ 57	47,31	2,56 ÷ 3,03	3,35	59,07	55,33

Các kết quả thực nghiệm 1,2 và 3 ở Bảng 3 cho thấy: Với cùng một tải trọng thủy lực là 48 m³/m².ngđ, khi giảm dần chiều cao lớp vật liệu lọc lần lượt là từ 4,0m, 2,0m và 1,5m, tương ứng với tải trọng chất hữu cơ tăng dần từ 0,61kg BOD/m³.d lên 1,01kg BOD/m³.ngđ và 1,62kg BOD/m³.ngđ, hiệu suất chuyển hóa chất hữu cơ sẽ giảm dần tương ứng với BOD từ 65,02% về 59,63% và 47,45%, N-NH₄ từ 68,18% về 64,98% và 56,01%.

Tương tự, với tải trọng thủy lực 24m³/m².ngđ, khi giảm chiều cao lớp vật liệu lọc giảm từ 1,5m về 1,0m, tương ứng với tải trọng chất hữu cơ tăng từ 0,63 kg BOD/m³.ngđ lên 1,13kg BOD/m³.ng thì hiệu suất xử lý sẽ giảm từ 64,31% về 59,07% với BOD và từ 60,61% về 55,33% với N-NH₄. (thực nghiệm 4 và 5).

Ngược lại, với cùng chiều cao lớp vật liệu lọc là 1,5m (thực nghiệm 3 và 4), khi giảm tải trọng thủy lực 2 lần từ 48m³/m².ngđ xuống 24m³/m².ngđ thì hiệu suất chuyển hóa tăng, lần lượt với BOD từ 47,45% lên 64,31% và N-NH₄ từ 56,01% đến 60,61%.

So sánh các kết quả có được với các loại bể lọc sinh học (cao tải và siêu cao tải) đang được áp dụng xử lý nước thải đô thị từ hệ thống thoát nước riêng trên thế giới tại Bảng 1, có thể rút ra một số nhận xét như sau:

So với bể lọc cao tải, tải trọng thủy lực cao hơn và tải trọng chất hữu cơ thấp hơn, nhưng hiệu suất xử lý thấp hơn khoảng 15% và tương tự so với bể lọc siêu cao tải hiệu suất xử lý chất hữu cơ đạt được cũng thấp hơn khoảng 10%, mặc dù được vận hành với tải trọng thủy lực và tải trọng chất hữu cơ nhỏ hơn. Và có thể được giải thích là do nước thải đầu vào là từ hệ thống thoát nước chung có nồng độ các chất hữu cơ thấp hơn rất nhiều so với hệ thống thoát nước chung và một phần các chất hữu cơ dễ phân hủy đã được chuyển hóa trong hệ thống thoát nước.

Để đảm bảo hiệu suất xử lý chất hữu cơ và Amôn đạt trên

60% thì tải trọng chất hữu cơ phải nhỏ hơn 1kg BOD/m³.ngđ với chiều cao lớp vật liệu lọc lớn hơn 2m và 0,6kgBOD/m³.ngđ khi chiều cao lớp vật liệu lọc không lớn hơn 1,5m.

3.2. *Khả năng áp dụng công nghệ lọc sinh học xử lý nước thải đô thị từ hệ thống thoát nước chung*

Các kết quả quan trắc chất lượng nước sau xử lý cơ học (nước thải đầu vào) và ra bể lọc sinh học (nước thải đầu ra) của các thực nghiệm và mức quy định tương ứng trong cột A của quy chuẩn kỹ thuật quốc gia QCVN40:2011/BTNMT được trình bày ở Hình 2 và 3.

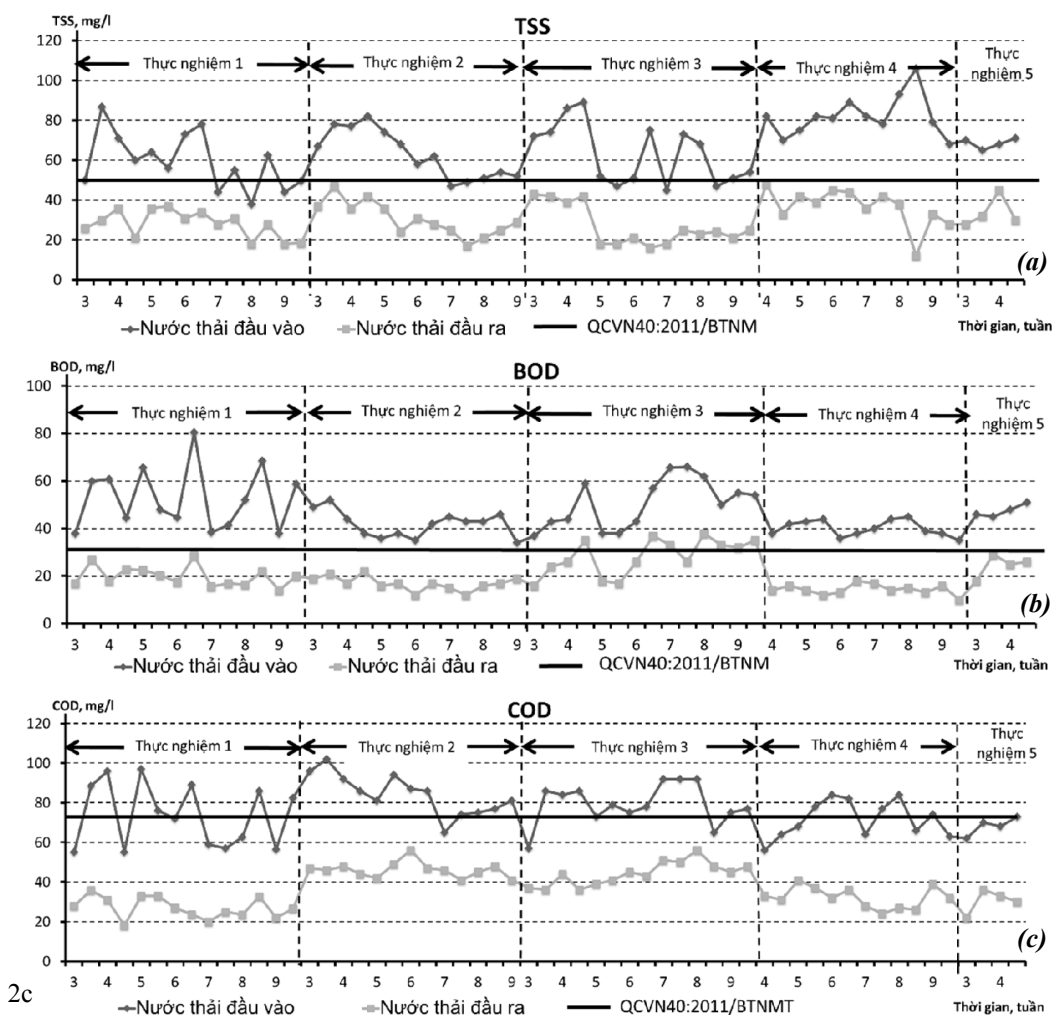
Các chất lơ lửng (TSS):

Với nước thải đầu vào có nồng độ TSS thay đổi trong khoảng từ 40 ÷ 105 mg/l, (trung bình 65,35mg/l), sau xử lý bằng bể lọc sinh học trong tất cả các thực nghiệm có giá trị ổn định hơn và dao động trong khoảng từ 20 đến 40mg/l (trung bình 30,28mg/l), đạt chuẩn cột A, QCVN 40: 2011/BTNM

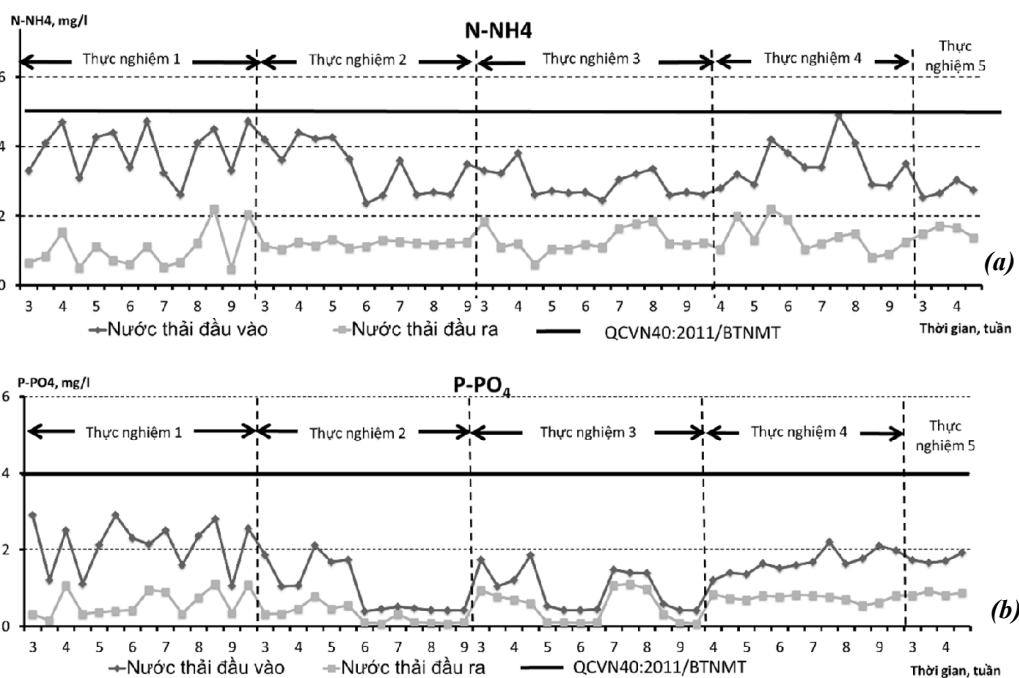
Chất hữu cơ (BOD, COD):

Ở các thực nghiệm 1, 2, 4 và 5, nồng độ chất hữu cơ trong đầu vào tính theo BOD từ 34 đến 81mg/l (trung bình 46,01mg/l) và theo COD từ 45 đến 110mg/l (trung bình 75,47mg/l). Sau xử lý giá trị BOD còn lại dao động trong khoảng 15 ÷ 33mg/l (trung bình 17,85mg/l) và COD từ 19 đến 58 (trung bình 75,47mg/l). Chất lượng nước sau xử lý đạt cột A, QCVN 40: 2011/BTNMT.

Với thực nghiệm 3, giá trị BOD trong nước thải đầu vào dao động trong từ 37 đến 66mg/l (trung bình 50,48mg/l) và giá trị COD từ 57 đến 92mg/l (trung bình 79,35mg/l). Nước sau xử lý có giá trị BOD dao động trong khoảng 16 ÷ 38mg/l và cao hơn cột A, QCVN 40: 2011/BTNMT. Nguyên nhân là do ở thực nghiệm này bể lọc làm việc với tải trọng chất hữu cơ cao 1,62 kg BOD/m³.ngđ, dẫn đến hiệu suất xử lý thấp, mặc dù giá trị BOD so với các thực nghiệm khác không có sự khác biệt đáng kể (theo kết quả tại Bảng 3, mục 3.1).



Hình 2. Kết quả quan trắc chất lượng nước đầu vào và ra bể lọc sinh học: (a) TSS; (b) BOD và (c) COD



Hình 3. Kết quả quan trắc chất lượng nước đầu vào và ra bể lọc sinh học: (a) N-NH₄ và (b) P-PO₄

Chất dinh dưỡng ($N-NH_4$ và $P-PO_4$)

Trong các thực nghiệm nồng độ $N-NH_4$ và $P-PO_4$ trong nước thải đầu vào lần lượt là $2 \div 5\text{mg/l}$ (trung bình $3,32\text{mg/l}$) và $0,5 \div 3\text{mg/l}$ (trung bình $1,45\text{mg/l}$). Với nước thải sau xử lý, nồng độ các chất dinh dưỡng dao động trong khoảng $0,2 \div 2\text{mg/l}$ (trung bình $1,17$) với Amôn và $0,1 \div 1\text{mg/l}$ (trung bình $0,45$) với Phốt phát. Các giá trị nêu trên đã đạt chuẩn cột A, QCVN 40: 2011/BTNMT cho nước thải đô thị (nhỏ hơn 5mg/l với Amôn và 4mg/l với Phốt phát).

So sánh kết quả thực nghiệm 3, 4 và 5 ở Bảng 2 và kết quả quan trắc giá trị BOD đầu ra của bể lọc sinh học tương ứng cho thấy: với chiều cao lớp vật liệu lọc nhỏ hơn $1,5\text{m}$, chất lượng nước chỉ đáp ứng được cột A, khi giảm 2 lần tải trọng thủy lực (từ $48\text{m}^3/\text{m}^2\text{ngđ}$ xuống $24\text{m}^3/\text{m}^2\text{ngđ}$), tương ứng với tải trọng chất hữu cơ giảm 25%. Với đặc điểm nước thải từ hệ thống thoát nước chung, nồng độ các chất ô nhiễm thấp vào mùa mưa, việc vận hành với tải trọng thủy lực nhỏ, sẽ ảnh hưởng đến chế độ vận hành và hiệu suất xử lý. Để đảm bảo chất lượng nước sau xử lý đạt cột A, khi vận hành bể lọc sinh học ở tải trọng thủy lực cao, chiều cao lớp vật liệu lọc nên chọn lớn hơn 2m mới đáp ứng được tải trọng chất hữu cơ ở mức dưới trung bình.

4. Kết luận và kiến nghị

Công nghệ lọc sinh học với vật liệu lọc là đệm plastic xử lý nước thải đô thị đã được áp dụng rộng rãi ở các nước phát triển và đã được áp dụng thành công tại thành phố Đà Lạt, Việt Nam với các ưu điểm: chi phí xử lý thấp, tốc độ làm sạch nhanh và quản lý vận hành đơn giản.

Với đặc điểm nước thải thành phố Đà Nẵng ở điều kiện hiện tại, vận hành bể lọc với các thông số: tải trọng chất hữu cơ nhỏ hơn $1\text{kg BOD}/\text{m}^3\text{ngđ}$ với chiều cao lớp vật liệu lọc lớn hơn 2m và $0,6\text{kg BOD}/\text{m}^3\text{ngđ}$ với chiều cao lớp vật liệu lọc nhỏ hơn $1,5\text{m}$ cho chất lượng nước sau xử lý đạt cột A, QCVN 40:2011/BTNMT.

Với nước thải đô thị từ hệ thống thoát nước chung, có nồng độ các chất ô nhiễm thấp thay đổi theo mùa, việc áp dụng công nghệ lọc sinh học với các ưu điểm chi phí thấp, quản

lý vận hành đơn giản trong xử lý nước thải đô thị Việt Nam là hướng tiếp cận hợp lý và phù hợp với điều kiện kinh tế của nước ta ở thời điểm hiện tại và tương lai.

Để có thể áp dụng vào thực tiễn một cách bền vững, cần triển khai các nghiên cứu về dự báo xu thế thay đổi nồng độ các chất ô nhiễm trong tương lai và xác định các thông số của quá trình với tải trọng chất hữu cơ tương tự nước thải từ hệ thống thoát nước riêng và chiều cao lớp vật liệu lọc phù hợp, để có thể đánh giá tính ổn định của quá trình công nghệ.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu được thực hiện với sự hỗ trợ của Trung tâm Nghiên cứu Bảo vệ Môi trường, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng, Công ty MetaWater Nhật Bản và Nhà máy xử lý nước thải Phú Lộc, thành phố Đà Nẵng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Environmental Protection Agency, *Water treatment manuals Filtration*, Ardcavan, Wexford, Ireland 1995.
- [2] United States Environmental Protection Agency, *Wastewater Technology Fact Sheet Trickling Filter Nitrification*, Office of Water Washington D. C., Sep 2000.
- [3] Durgananda Singh Chaudhary, Saravanamuthu Vigneswara, Huu-Hao Ngo, Wang Geun Shim and Hee Moon, *Bio-filter in Water and Wastewater Treatment*, Korean Journal Chemical Engineering, 2003
- [4] Metcalf & Eddy, Inc. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4th edition*, The McGraw Hill, New York, 2004.
- [5] Eric Anthony Evans, S.M.ASCE, Timothy G. Ellis, Harvey Gullicks, John Ringelestein, *Trickling Filter Nitrification Performance Characteristics and Potential of a Full-Scale Municipal Wastewater Treatment Facility*, Journal of environmental engineering ASCE November 2011.
- [6] Ngân hàng thế giới (WB), *Đánh giá hoạt động quản lý nước thải đô thị tại Việt Nam*, ACS 7712v2, Australian Aid, 2012.
- [7] Tran Van Quang, Hidenari Yasui, *Municipal wastewater treatment in Danang city: existing problems and base for selecting applied technology in future*. University of Danang. Journal of Science and Technology. 12 [61]/2012.
- [8] Tran Van Quang, Yanase Tesuya, “Nghiên cứu áp dụng công nghệ lọc sinh học xử lý nước thải đô thị: kết quả thực nghiệm tại thành phố Đà Nẵng”, *Tạp chí Xây dựng số 5*, trang 83-85, 2014.

(BBT nhận bài: 16/03/2016, phản biện xong: 11/04/2016)