

Nghiên cứu chế tạo vật liệu mang vi sinh vật dạng chuyển động từ đá thủy tinh ứng dụng trong hệ bùn hoạt tính để xử lý nước thải sinh hoạt

Trần Thị Huyền Nga^{1*}, Đặng Thị Thanh Huyền²,
Nguyễn Mạnh Khải¹

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

²Trường Đại học Xây dựng

Ngày nhận bài 30/8/2018; ngày chuyển phản biện 4/9/2018; ngày nhận phản biện 28/9/2018; ngày chấp nhận đăng 10/10/2018

Tóm tắt:

Một trong những công nghệ được đánh giá cao về khả năng xử lý nitơ trong nước những năm gần đây là công nghệ bể phản ứng xử lý nước thải bằng màng vi sinh dính bám trên vật liệu mang (Moving Bed Biofilm Reactor - MBBR). Hiện nay tại Việt Nam, hầu hết các loại vật liệu mang được sử dụng trong công nghệ MBBR đa phần được nhập khẩu từ nước ngoài, có khả năng xử lý khá hiệu quả, nhưng giá thành cao và khó phù hợp với điều kiện thời tiết, vận hành tại Việt Nam. Với nguyên liệu từ đá thủy tinh, vật liệu thu được có trọng lượng riêng 9,9 kN/m³, độ xốp ở mức trung bình 96%, diện tích bề mặt đạt 0,35-0,66 m²/g có thể là giá thể bám dính phù hợp cho các vi sinh vật hoạt động và đạt hiệu quả cao trong khả năng xử lý nước thải sinh hoạt.

Từ khóa: đá thủy tinh, giá thể mang vi sinh dạng chuyển động, nước thải sinh hoạt, vật liệu mang vi sinh vật.

Chỉ số phân loại: 2.7

Mở đầu

Công nghệ màng sinh học giá thể di động (MBBR - Moving Bed Biological Reactor) được biết đến với nhiều ưu thế, có thể xử lý đồng thời chất hữu cơ, chất dinh dưỡng nitơ, photpho với chất lượng và hiệu quả cao, thời gian xử lý ngắn và tạo ra ít chất thải thứ cấp hơn. Trong thập kỷ qua, công nghệ này đã được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi để xử lý nước thải đô thị [1], nước thải công nghiệp giấy và bột giấy [2], nước thải chứa phenol, nước thải dược phẩm [3], nước thải nhà máy sữa, lọc dầu và chất thải cơ sở giặt mỡ, nuôi trồng thủy sản... [4], mang lại hiệu quả cao nhờ loại bỏ 60-90% COD, 75-97% BOD₅, 40-85% tổng nitơ và các chất dinh dưỡng khác ở mức độ nhất định tùy từng loại nước thải. MBBR là công nghệ kết hợp giữa các điều kiện thuận lợi của quá trình xử lý bùn hoạt tính hiếu khí và bể lọc sinh học. Bể MBBR xử lý bằng lớp màng biofilm với sinh khối phát triển trên giá thể di chuyển tự do trong bể phản ứng nhờ hệ thống sục khí cấp oxy. Bể MBBR không cần quá trình tuần hoàn bùn giống như các phương pháp xử lý bằng màng biofilm khác, vì vậy nó tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình xử lý bằng phương pháp bùn hoạt tính trong bể, bởi vì sinh khối ngày càng được tạo ra trong quá trình xử lý [5, 6].

Một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến hiệu quả của công nghệ MBBR là vật liệu làm giá thể mang vi sinh vật và đã có nhiều vật liệu loại này được nghiên cứu và phát triển trên thế giới. Một trong những đặc điểm quan trọng của giá thể mang vi sinh vật là diện tích bề mặt lớn, độ xốp cao để có thể làm không

gian cho các vi sinh vật bám dính và phát triển, tạo màng biofilm [7]. Ngoài ra, khối lượng riêng càng nhẹ sẽ giúp các vi sinh vật có thể được di động nhiều, tạo thuận lợi cho quá trình tồn tại và phát triển của chúng. Một số giá thể mang vi sinh vật đã có mặt trên thị trường như Hel-X Chip, Kaldnes... Hiện nay, một số vật liệu được làm từ cellulose, tuy nhiên độ bền của các vật liệu này trong hệ thống xử lý rất kém [7]. Hạt lọc Kaldnes là một loại vật liệu có thể thả nổi trong bể sinh học hiếu khí, thiếu khí hoặc bể xử lý nước thải hồ cá. Sau 10-20 phút vận hành, màng vi sinh sẽ được hình thành và ổn định, phát huy hiệu quả xử lý nước thải một cách triệt để [6]. Với cấu trúc đặc biệt, các giá thể vi sinh Hel-X Chip tạo môi trường lý tưởng cho các vi khuẩn trong quá trình anammox phát triển bám dính lên bề mặt và bên trong các lỗ rỗng. Màng vi sinh có thể kết hợp xử lý cả quá trình hiếu khí (Aerobic) và thiếu khí (Anoxic), giúp cho quá trình xử lý: COD, BOD, amoni... với tải trọng cao và đặc biệt xử lý amoni hiệu quả hơn các giá thể vi sinh bám dính khác. Tuy nhiên, số lượng vi sinh vật phụ thuộc vào diện tích bề mặt có sẵn cho sự phát triển vi sinh vật, Hel-X Chip tạo điều kiện sống tối ưu cho vi khuẩn [7].

Đá rỗng thủy tinh (Supersol) là vật liệu đá nhân tạo nhẹ, xốp, được tạo thành sau khi nghiền rác thủy tinh thành bột, nung nóng và tạo bọt, có tính thấm, giữ nước, độ chịu nhiệt cao và độ bền lâu dài, trong quá trình sản xuất có thể điều chỉnh được tỷ trọng và độ hút nước phù hợp với yêu cầu về kiến trúc, xây dựng... Ngoài ra, vật liệu này còn bền với các loại hóa chất, không phân hủy thành

*Tác giả liên hệ: Email: tranthihuyennga@hus.edu.vn

Study into a new carrier used moving bed biofilm reactor (MBBR) from waste glasses for domestic wastewater treatment

Thi Huyen Nga Tran^{1*},
Thi Thanh Huyen Dang², Manh Khai Nguyen¹

¹VNU University of Sciences, Vietnam National University (VNU), Hanoi

²National University of Civil Engineering

Received 30 August 2018; accepted 10 October 2018

Abstract:

Moving bed biofilm reactor (MBBR) was highly appreciated for wastewater treatment in recent years. In Vietnam, most of carriers for MBBR which was imported had a high efficiency in treatment; however, their price and durability in extreme weather was the great concern. Glass-based pumice was studied as a MBBR carrier, and the resulting material had the specific weight of 9.9 kN/m³, porosity of 96%, large surface area of 0.35-0.66 m²/g (the result obtained by BET method). These characteristics of glass-based pumice could be an interesting option for biofilm reactor for wastewater treatment plant.

Keywords: domestic wastewater, microbial carriers, moving bed biofilm reactor, pumice.

Classification number: 2.7

chất độc hại nên thân thiện với môi trường. Tuy nhiên, Việt Nam gần như chưa sản xuất được loại vật liệu này, mà đang phải nhập khẩu với giá cao. Để góp phần giải quyết vấn đề đặt ra, nghiên cứu này tiến hành chế tạo đá rỗng thủy tinh từ chất thải xây dựng làm vật liệu cho hệ MBBR, giúp nâng cao hiệu quả xử lý nước thải, giảm chi phí vận hành và thân thiện hơn với môi trường.

Nguyên liệu và phương pháp nghiên cứu

Nguyên liệu

- Nguyên liệu chế tạo vật liệu mang: phế liệu thủy tinh được nghiền nhỏ, bột xi măng, phụ gia.

- Nước thải sinh hoạt được lấy từ bể lắng sơ cấp của Trạm Kim Liên.

Phương pháp nghiên cứu

Chế tạo vật liệu đá thủy tinh theo quy trình của George Gizas và Tibor Pietsch [8, 9] đã công bố và có cải tiến để phù hợp với

nguyên vật liệu tại Việt Nam:

- Phối trộn các nguyên liệu: bột thủy tinh, xi măng và phụ gia theo 3 loại tỷ lệ khác nhau lần lượt là 80:10:10; 70:20:10; 60:20:20.

- Điều chỉnh tỷ lệ nước phù hợp.

- Tạo hình mẫu thành dạng viên và dạng miếng.

- Sấy ở nhiệt độ 100°C và sấy trong vòng 24h.

- Tiến hành nung theo 2 giai đoạn:

+ Giai đoạn 1: gia nhiệt tới nhiệt độ 400°C trong thời gian khoảng 1h.

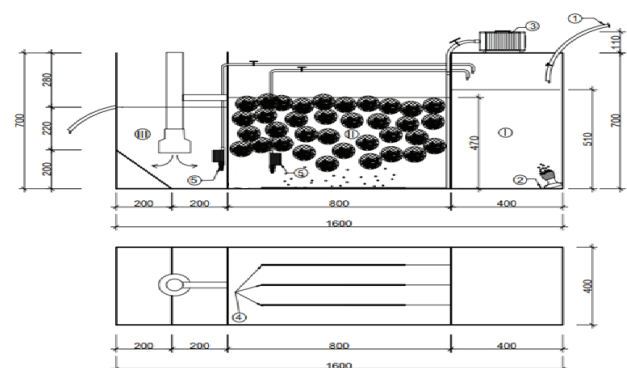
+ Giai đoạn 2: gia nhiệt tới 700°C trong thời gian khoảng 3h.

Đánh giá tính chất vật lý vật liệu:

- Đo độ rỗng của vật liệu bằng phương pháp BET, phương pháp này dựa trên việc xác định lượng khí cần thiết để bao phủ bề mặt của một lớp đơn phân tử. Lượng khí này được xác định từ đường cong hấp phụ đẳng nhiệt của nitơ ở nhiệt độ của nitơ lỏng (77,4K) theo Brunauer, Emmett và Teller (BET) từ đó N₂ bị hấp phụ bằng hấp phụ vật lý trên bề mặt chất hấp phụ. Lượng N₂ hấp phụ ở một áp suất cho trước được xác định bằng phép đo thể tích hoặc khối lượng.

- Quét bề mặt vật liệu bằng kính hiển vi giúp hiểu được sơ bộ thành phần và cấu tạo bề mặt của vật liệu, cũng như các tính chất cơ bản như độ rỗng xốp và mật độ phân bố lỗ rỗng bề mặt.

Ứng dụng vật liệu mang vi sinh chuyển động trong hệ MBBR: vật liệu được ứng dụng trong mô hình xử lý nước thải sinh hoạt với quy mô 0,5 m³/ngày đêm, với ba bể chính bao gồm bể thiếu khí, bể hiếu khí với giá thể lơ lửng và bể lắng. Sơ đồ cấu tạo như hình 1. Bùn trưởng thành được lấy từ bể hiếu khí và bể bùn của Nhà máy xử lý nước thải Kim Liên, sau khi ổn định thì tiến hành thu mẫu và theo dõi sự biến đổi của các chỉ tiêu để đánh giá hiệu quả xử lý của hệ thống nghiên cứu (tần suất lấy mẫu 2 ngày 1 lần, trong 10-17 ngày).



- | | |
|----------------------|---------------------------------|
| I. Bể thiếu khí | 2. Máy khuấy |
| II. Bể hiếu khí | 3. Máy thổi khí |
| III. Bể lắng thứ cấp | 4. Ống cấp khí có ngăn hiếu khí |
| 1. Ống dẫn nước | 5. Máy bơm |

Hình 1. Sơ đồ mô hình MBBR.

Các thông số vận hành:

- Lưu lượng nước thải vào Q=0,5 m³/ngày đêm, lưu lượng nước tuần hoàn từ bể hiếu khí và bể lắng về bể thiếu khí lần lượt là

0,5 và 0,25 m³/ngày đêm.

- Bùn ở bể MBBR có hàm lượng MLSS 10±2,8 g/l, SVI 30 là 109±30,8 ml/l.

- Lượng oxy hòa tan (DO) được duy trì trong khoảng 3,1 mg/l trong bể MBBR và 1,6 mg/l trong bể thiếu khí.

- Thời gian lưu bể thiếu khí là 2h, bể hiếu khí là 6h.

Kết quả và thảo luận

Đánh giá tính chất vật lý của vật liệu mang

Về cảm quan, sau quá trình sấy, mẫu xuất hiện những bọt khí thoát ra do phụ gia phản ứng ngay với nước tại nhiệt độ thường. Sau quá trình nung, mẫu có nhiều lỗ rỗng hơn. Các mẫu nặn tay thường có ít lỗ rỗng hơn mẫu để tự nhiên, có thể do tác động của quá trình nặn làm biến dạng lỗ rỗng tự nhiên.

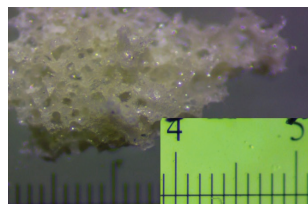
Bảng 1. Các tính chất đặc trưng của vật liệu.

Mẫu	TT1 (80:10:10)	TT2 (70:20:10)	TT3 (60:20:20)
Diện tích bề mặt (m ² /g)	0,3514±0,0211	0,5218±0,0047	0,6661±0,0055
Độ xốp (%)	96,96	94,671	94,11
Trọng lượng riêng (kN/m ³)	9,9	9,9	9,9

Theo bảng 1, mẫu TT1 (80:10:10) có diện tích bề mặt nhỏ hơn so với 2 mẫu còn lại nhưng độ xốp lại lớn nhất trong tất cả 3 mẫu. Như vậy, độ rỗng của mẫu đá bột thủy tinh: phụ gia: bột xi măng phối trộn theo tỷ lệ 80:10:10 là lớn nhất. Ngoài ra, khối lượng riêng của mẫu đá gần tương đương với nước. Ảnh chụp mẫu TT1 được thể hiện trên hình 2.

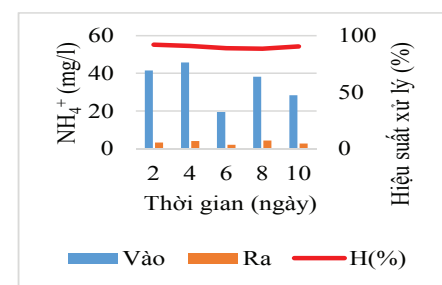
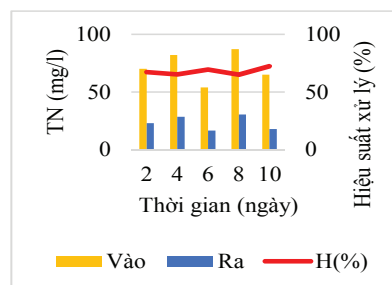
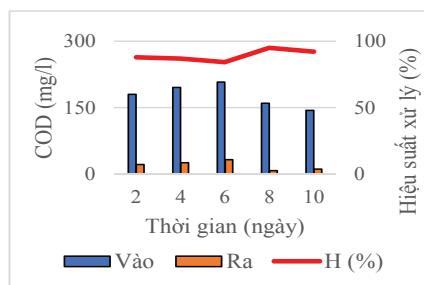


Hình chụp mặt ngoài vật liệu TT1.



Hình ảnh chụp bằng kính hiển vi (X100) vật liệu TT1 (độ chia nhỏ nhất của thang đo 0,01 mm).

Hình 2. Hình ảnh vật liệu TT1.



Hình 3. Hiệu quả loại bỏ COD, tổng nitơ và amoni của hệ thống khi không có vật liệu mang.

So với vật liệu như Kaldnes đã có mặt trên thị trường phổ biến hiện nay sử dụng làm giá thể mang vi sinh vật chuyển động, vật liệu TT1 có diện tích bề mặt lớn hơn hẳn, độ xốp cũng rất cao, từ đó có thể tạo nhiều không gian để cho vi sinh vật bám dính vào sinh trưởng, phát triển thuận lợi [6]. Sản phẩm này có tính chất gần giống loại đá supersol của Nhật Bản (loại L3 có trọng lượng riêng từ 5-10 kN/m³), khi được thả vào trong bể MBBR, dưới tác dụng của lực đẩy từ bơm chìm đặt trong bể sẽ được đảo trộn liên tục ở dạng lơ lửng.

Hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt trong hệ thống MBRR áp dụng

Hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt của hệ thống khi không có vật liệu mang:

Đồ thị hình 3 cho thấy, COD trong nước thải đầu vào không ổn định, dao động lớn, thấp nhất là 144 mg/l vào ngày thứ 10, cao nhất lên đến 208 mg/l ngày thứ 6, COD dòng vào trung bình là 177,6 mg/l, COD dòng ra phụ thuộc nhiều vào giá trị COD dòng vào, trung bình là 19,7 mg/l. Hiệu quả xử lý trung bình cả quá trình đạt 89,3%, cao hơn so với hiệu suất xử lý của Trạm Kim Liên hiện tại (84%).

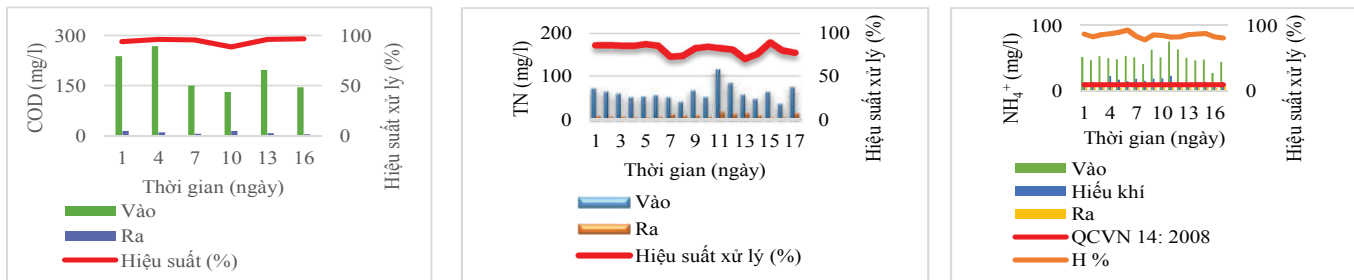
Tổng nitơ (TN) trong nước thải dao động trong khoảng từ 54-87 mg/l, giá trị trung bình của TN trong nước thải đầu vào là 71,6 mg/l. Nước thải sau khi xử lý, TN nằm trong khoảng từ 16,5 đến 30,5 mg/l và giá trị trung bình là 23,3 mg/l. Hiệu suất xử lý trung bình là 67,8%, cao hơn so với của Trạm Kim Liên là 63%. Tuy nhiên, nhìn chung hiệu quả xử lý TN còn khá thấp.

Nồng độ amoni (NH₄⁺) đầu vào thay đổi khá lớn từ 19,5 đến 45,8 mg/l, trung bình NH₄⁺ dòng vào là 34,7 mg/l, dòng ra là 3,4 mg/l. Hiệu suất xử lý amoni khá cao (trung bình 90,1%).

Khi không có vật liệu mang vi sinh vật trong bể hiếu khí, hệ thống xử lý nước thải vẫn vận hành, vẫn có sự tồn tại và sinh trưởng, phát triển của các vi sinh vật cho nên các chất hữu cơ vẫn được phân giải. Tuy nhiên, có thể thấy rằng hiệu quả xử lý TN thấp.

Hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt của hệ thống khi có vật liệu mang từ đá thủy tinh:

Tiến hành thí nghiệm tương tự và thu mẫu trong 17 ngày trên cùng một hệ thống với các điều kiện như nhau nhưng có sử dụng vật liệu mang đã chế tạo trong bể hiếu khí với mật độ 30% thể tích



Hình 4. Hiệu quả loại bỏ COD, tổng nitơ và amoni của hệ thống khi có vật liệu mang.

bể. Các thông số vận hành giống như hệ không chứa vật liệu mang.

Đồ thị hình 4 cho thấy, COD đầu vào được lấy từ Nhà máy xử lý nước Kim Liên cũng không ổn định, cao nhất là 268 mg/l và thấp nhất là 145 mg/l, kết quả cho thấy hiệu suất loại bỏ COD của mô hình có chứa vật liệu mang vì sinh lên đến 95,8%, xấp xỉ với các thí nghiệm sử dụng các giá thể thương mại như K1, FLOCOR-RMP [1, 10], điều đó chứng tỏ hiệu quả loại COD của hệ thống MBBR với vật liệu đá rỗng thủy tinh có tiềm năng ứng dụng cao.

Nồng độ TN trong nước thải đầu vào khá cao, dao động trong khoảng 40-80 mg/l, trung bình 63,18 mg/l, tuy nhiên cũng đôi khi có nồng độ rất cao lên đến 120 mg/l. Sau quá trình xử lý, TN đầu ra trung bình là 10,83 mg/l, cao nhất là 19,5 mg/l. Hiệu suất xử lý TN từ 70-90%, trung bình cả quá trình là 83,13%. Hiệu suất này khá cao, có thể thấy rằng hệ thiếu khí kết hợp MBBR hiếu khí chứa vật liệu mang của chúng tôi có thể xử lý khá tốt các hợp chất nitơ trong nước thải.

Nồng độ NH₄⁺ đầu vào khá cao, lên tới 75,19 mg/l vào ngày thứ 11, thấp nhất là 27,62 mg/l vào ngày thứ 16, trung bình NH₄⁺ đầu vào là 51,11 mg/l. Qua xử lý bể MBBR hiếu khí, nồng độ NH₄⁺ giảm mạnh, đầu ra trung bình là 7,62 mg/l. Hiệu suất xử lý NH₄⁺ khá cao (trung bình là 85%), ngày cao nhất lên đến 92,61%. Tuy nhiên hiệu suất xử lý trong quá trình thí nghiệm chưa ổn định.

Kết quả cho thấy, khi có vật liệu mang vì sinh trong hệ thống, mật độ vì sinh vật trong bể hiếu khí tăng lên, hiệu quả loại bỏ các chất hữu cơ COD và tổng nitơ, amoni tăng lên rõ rệt. Các chỉ tiêu đầu ra sau xử lý đều đạt QCVN 14:2008/BTNMT.

Kết luận

Từ đá thủy tinh, vật liệu thủy tinh rỗng thu được có trọng lượng riêng 9,9 kN/m³, độ xốp của mẫu TT1 đạt 96%, diện tích bề mặt vật liệu TT1, TT2, TT3 lần lượt là 0,3514; 0,5218; 0,6661 m²/g.

Khi không có vật liệu mang, hiệu suất xử lý COD, tổng nitơ và amoni trung bình của mô hình lần lượt là 89,3; 67,8 và 90,1%, tương ứng với nồng độ đầu ra là 19,7; 24,8 và 2,3 mg/l. Hiệu quả xử lý tổng nitơ còn thấp.

Với cùng điều kiện thí nghiệm nhưng bổ sung vật liệu mang vì sinh là đá thủy tinh (TT1) vào bể hiếu khí với mật độ 30% thể tích bể, hiệu quả xử lý chất hữu cơ và nitơ tăng cao. Hiệu suất loại bỏ COD, tổng nitơ, amoni trung bình là 95,8; 83,1 và 92,6%. Các chỉ tiêu đầu ra sau xử lý đều đạt QCVN 14:2008/BTNMT. So sánh với

hệ thống không có vật liệu mang, hiệu quả xử lý COD, tổng nitơ cao hơn đáng kể.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc Gia Hà Nội thông qua đề tài mã số QG.17.21. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. Kermani, B. Bina, H. Movahedian, M.M. Amin, M. Nikaein (2008), "Application of moving bed biofilm process for biological organics and nutrients removal from municipal wastewater", *Am. J. Environ. Sci.*, **4**(6), pp.675-682.
- [2] S.M. Borghei, S.H. Hosseini (2004), "The treatment of phenolic wastewater using a moving bed biofilm reactor", *Process Biochem. Journal*, **39**, pp.1177-1181.
- [3] J. Brinkley, C.H. Johnson, R. Souza (2007), "Moving bed biofilm reactor technology-a full scale installation for treatment of pharmaceutical wastewater", *North Carolina American Water Works Association-Water Environment Federation (NC AWWA-WEA), Annual Conference Technical Program*.
- [4] J.P. McQuarrie, J.P. Boltz (2011), "Moving bed biofilm reactor technology: process applications, design and performance", *Water Environ. Res.*, **83**(6), pp.560-575.
- [5] C. Brosseau, B. Émile, M. Labelle, É. Laflamme, P.L. Dold, Y. Comeau (2016), "Compact secondary treatment train combining a lab-scale moving bed biofilm reactor and enhanced flotation processes", *Water Research*, **106**, pp.571-582.
- [6] C. Brosseau, B. Émile, M. Labelle, É. Laflamme, P.L. Dold, Y. Comeau (2016), "Compact secondary treatment train combining: Design and operations of the kaldnes moving bed biofilm reactors", *Aquac. Eng.*, **34**, pp.322-331.
- [7] Lamela Co. (2015), *Hướng dẫn sử dụng và lắp đặt giá thể trong xử lý nước thải thủy sản, thực phẩm bằng công nghệ MBBR*.
- [8] George Gizas, Dimitrios Savvas (2007), "Particle Size and Hydraulic Properties of Pumice Affect Growth and Yield of Greenhouse Crops in Soilless Culture", *Hort. Science*, **42**(5), pp.1274-1280.
- [9] Tibor Pietsch (1990), *Artificial pumice stone*, United States Patent Number: 4933306.
- [10] A. Aygun, B. Nas, A. Berkay (2008), "Influence of high organic loading rates on COD removal and sludge production in moving bed biofilm reactor", *Environ. Eng. Sci.*, **25**(9), pp.1311-1316.