Xử lý nước thải sinh hoạt bằng bãi lọc ngầm trồng cây dòng chảy thẳng đứng trong điều kiện Việt Nam

PGS. TS. Nguyễn Việt Anh

Trường Đại học Xây dựng

Đặt vấn đề

Ở Việt Nam, phần lớn nước thải sinh hoạt ở các khu dân cư đô thị, ven đô vŕ nông thôn đều chưa được xử lý đúng quy cách. Nước thải từ các khu vệ sinh mới chỉ được xử lý sơ bộ tại các bể tự hoại, chất lượng chưa đạt yęu cầu xả ra môi trường, là nguyên nhân gây ô nhiễm, lây lan bệnh tật. Đó là chưa kể dòng nước thải sinh hoạt từ nhà bếp, tắm, giặt,... (nước xám) thường không được xử lý qua bể tự hoại, góp phần lŕm ô nhiễm môi trường và ảnh hưởng đến sức khỏe cộng đồng.

Như vậy, trong điều kiện hiện nay ở Việt Nam, khi phần lớn các dự án thoát nước vŕ xử lý nước thải còn chưa đến được mọi nơi, vŕ nếu có thì cũng mới chỉ hướng tới giải quyết vấn đề thoát nước mưa và khắc phục tình trạng úng ngập, và còn rất khó có kinh phí để duy trì vận hành, bảo dưỡng hệ thống đó, thì việc nghiên cứu làm sạch nước thải tại chỗ cho các hộ gia đình hay các cụm dân cư, bằng các công nghệ phù hợp, vừa đơn giản, có chi phí xây dựng và vận hành thấp, vừa đảm bảo vệ sinh môi trường, là một hướng giải quyết hợp lý và khả thi.

Bãi lọc trồng cây (constructed wetland) gần đây đã được biết đến trẹn thế giới như một giải pháp công nghệ xử lý nước thải trong điều kiện tự nhiẹn, thân thiện với môi trường, đạt hiệu suất cao, chi phí thấp vŕ ổn định, đồng thời góp phần lŕm tăng giá trị đa dạng sinh học, cải tạo cảnh quan môi trường của địa phương. Sinh khối thực vật, bủn phân hủy, nước thải sau xử lý từ bãi lọc trồng cây còn có giá trị kinh tế. Tại Việt Nam, công nghệ này còn là rất mới mẻ.

Có thể phân các loại bãi lọc trồng cây ra thành 2 nhóm chính: Bãi lọc trồng cây ngập nước; Bãi lọc trồng cây dòng chảy ngầm hay Bãi lọc ngầm trồng cây, với dòng chảy ngang hay dòng chảy thẳng đứng.

Có thể sử dụng các vật liệu lọc khác nhau trong bãi lọc trồng cây. Thực vật trồng trong bãi lọc thường là các loại thực vật thuỷ sinh lưu niên, thân thảo, thân xốp, rễ chùm, nổi trên mặt nước , ngập hẳn trong nước, hay trồng trong nước nhưng thân cây nhô lên trên mặt nước.

Trong các loại bãi lọc trồng cây kể trên, bãi lọc ngầm trồng cây dòng chảy thẳng đứng tỏ ra có nhiều ưu điểm như điều kiện hiếu khí trong lớp vật liệu lọc tốt hơn, nâng cao hiệu suất quá trình phân hủy sinh học các hợp chất hữu cơ, xử lý được chất dinh dưỡng như Nitơ nhờ quá trình nitrat hóa - khử nitrat, loại bỏ được các vi sinh vật gây bệnh trong nước thải, tốn ít diện tích, hiệu suất xử lý cao,... Tuy nhiên, hạn chế của loại này là cần có

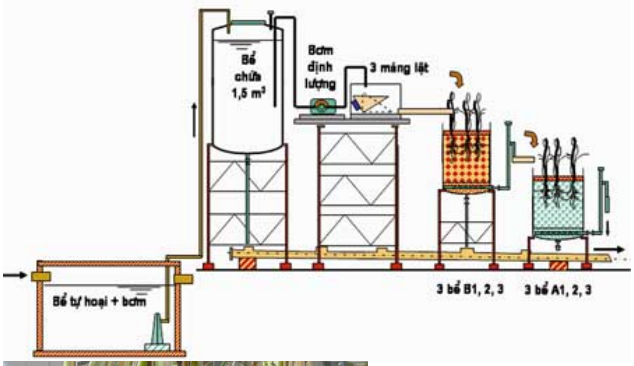
chênh lệch về gradient dòng chảy, do vậy phải lựa chọn điều kiện địa hĕnh thích hợp mới có thể áp dụng được, nếu không thĕ phải dùng bơm.

Từ những lý do phân tích trên đây, bãi lọc trồng cây dòng chảy thẳng đứng là đối tượng được lựa chọn để nghiện cứu thử nghiệm. Trên thực tế, có thể kết hợp các loại bãi lọc trồng cây với nhau để đạt hiệu quả tối ưu.

Mô hình thí nghiệm - nội dung nghiên cứu

Nhóm nghiên cứu đã lắp đặt và chạy mô hình xử lý nước thải với bể tự hoại và bãi lọc ngầm trồng cây dòng chảy thẳng đứng tại Trung tâm Kỹ thuật Môi trường đô thị vŕ khu công nghiệp, trường Đại học Xây dựng, với các chế độ vận hŕnh khác nhau, đánh giá hiệu quả xử lý, ảnh hưởng của tải trọng chất bẩn vŕ thuỷ lực, loại vật liệu lọc, cây trồng, thời tiết.

Các bể thí nghiệm trồng cây gồm 6 thùng Inox dung tích 500 lít, trong đó 3 thùng A1, A2, A3 chứa sỏi tròn (đường kính 1,5 - 2 cm), 3 thùng B1, B2, B3 chứa gạch vỡ (đường kính 3 - 4 cm). Nước thải được cấp vŕo các bể này được lấy từ sau bể tự hoại 2 ngăn, dung tích 10 m3 (hình 1).





Các chế độ vận hŕnh mô hình

Giai đoạn 1 (từ 8/2004 đến 4/2005): 4 bể trồng cây cỏ nến (Typha 0rientalis) 2 bể với vật liệu sỏi: A1, A2, 2 bể với vật liệu gạch vỡ: B1, B2, 2 bể cĕn lại không trồng cây. Các bể làm việc song song. Nước thải chảy vào các bể theo chiều từ trên xuống dưới, được cấp theo mẻ, 2 lần/ngày 10 lít/bể

Giai đoạn 2 (Từ 4/2005 đến 12/2005): các bể lọc được bố trí theo sơ đồ nối tiếp 2 bậc, gồm 3 dăy song song: B1 - A1, B2 - A2, B3 - A3. Việc bố trí nối tiếp nhằm mục đích nâng cao hiệu suất xử lý nước của hệ thống. Tải trọng thủy lực được giữ ở mức 20 lít/dăy/ngày. Nước từ các bể B tự chảy sang các bể A tương ứng và tưới lên trên bề mặt bể từ trên xuống. Mực nước trong mỗi bể B được khống chế thấp hơn bề mặt lớp vật liệu lọc 25 cm, giúp cho không khí thâm nhập vào lớp trên của bể, cung cấp dưỡng khí cho quá trình oxy hóa sinh hóa các hợp chất hữu cơ và nitrát hóa, đồng thời tránh cho rễ cây bị thối rữa làm cho cây chết, nhất là khi nồng độ chất bẩn trong nước thải quá cao. Các quá trình nitrit và nitrat hóa được thực hiện bởi các vi sinh vật hiếu khí cư trú chủ yếu ở lớp trên của bể lọc và trên bộ rễ chùm của cây. Oxy được cấp cho quá trình hô hấp của các vi sinh vật này thông qua cây trồng và từ bề mặt bể, khi bể được tưới nước. Việc giữ cho các bể luôn có nước cho

phép duy trì môi trường kỵ khí, cần thiết cho quá trình xử lý nitơ (khử nitrat) sau quá trình nitrat hóa, đồng thời tránh sự chảy tắt trong bể lọc.

Trong giai đoạn 2, nhiều loại cây khác nhau được thử nghiệm: cây sậy, mai nước, thuỷ trúc, phát lộc (Dracaena Fragrans). Các loại cây được trồng xen kẽ củng với cây cỏ nến, để đảm bảo cho bể lọc luôn có hệ thực vật đa dạng phát triển, giữ cho hiệu quả xử lý ổn định, khi các loại cây khác nhau có độ nhạy cảm đối với môi trường khác nhau. Việc thử nghiệm trồng xen kẽ nhiều loại cây ở giai đoạn 2 cũng nhằm mục đích tẽm kiếm và so sánh các loại cây trồng có thể sử dụng được ở Việt Nam cho xử lý nước thải trong bãi lọc.

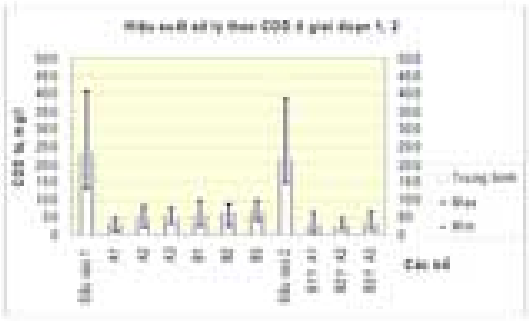
Lấy mẫu và phân tích mẫu: Mẫu được lấy tối thiểu 1 lần/tuần, gồm mẫu nước thải trước xử lí và các mẫu nước thải sau xử lí. Các chỉ tiêu nhiệt độ, pH, DO, CND, TDS, COD, TSS, TP, PO43-, TN, NH4+-N, NO3--N, Faecal Coli và Coli tổng số được phân tích theo phương pháp tiêu chuẩn (APHA - AWWA -WEF, 1998).

Kết quả nghiên cứu

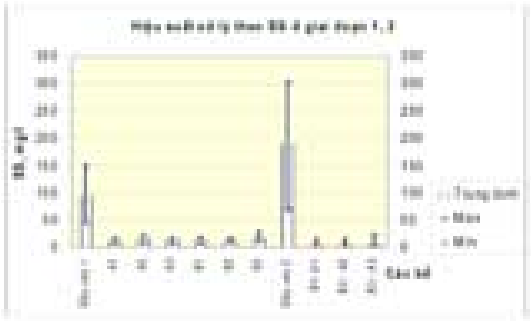
Loại cây trồng trong bãi lọc

Cỏ nến, sậy, thuỷ trúc, mai nước, phát lộc đều phát triển tốt trong nước thải ở các mô hẽnh xử lý. Sậy phát triển mạnh, dễ trồng, dễ sống, ít bị ảnh hưởng bởi môi trường hơn cả. Thuỷ trúc và mai nước cũng sinh trưởng tốt trong nước thải, ít bị ảnh hưởng bởi môi trường, tuy nhiên lượng sinh khối sản xuất ra ít hơn, lá thưa. Việc này liên quan đến cường độ hấp thụ chất hữu cơ vŕ dinh dưỡng bởi thực vật từ nước thải. Cỏ nến có khả năng hấp thụ chất hữu cơ mạnh, sinh khối lớn, tuy nhiên loại thực vật này nhạy cảm với nồng độ và thành phần nước thải, với chế độ oxy trong bể và rất nhạy cảm với ánh sáng.

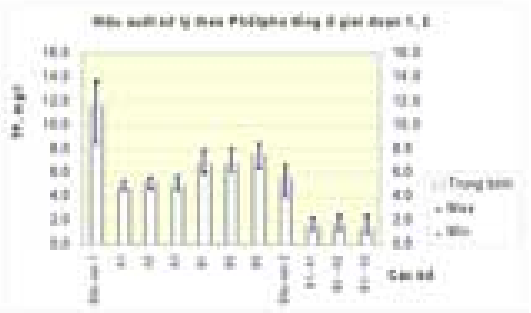
Hiệu quả xử lý chất hữu cơ (theo COD)



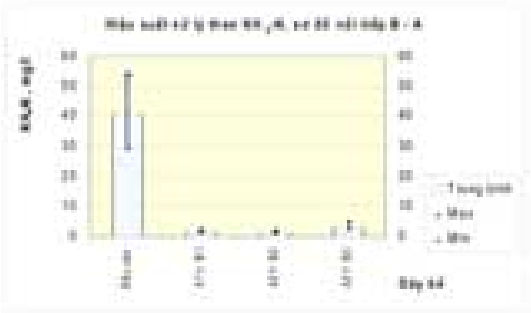
Hình 2. Hiệu quả xử lí COD, giai đoạn 1, 2



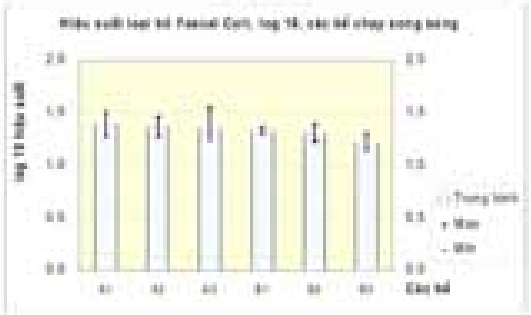
Hình 3. Hiệu quả xử lí SS, giai đoạn 1, 2



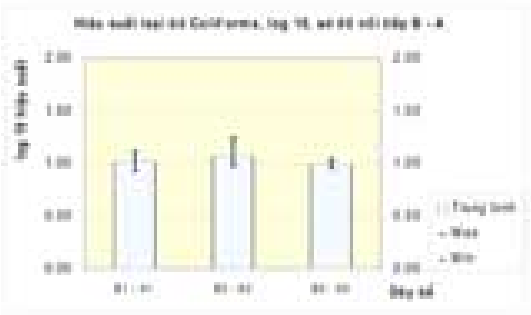
Hình 4. Hiệu quả xử lí theo Photpho tổng số (TP), giai đoạn 1, 2



Hình 5. Hiệu quả xử lí theo NH4-N, giai đoạn 2



Hình 6. Hiệu quả xử lý Faecal Coli, giai đoạn 1.



Hình 7. Hiệu quả xử lí Coliforms, giai đoạn 2 (Đơn vị log = -log10 (1 - Hiệu suất/100))

- Với nồng độ chất hữu cơ đầu vŕo theo COD trung bình 229,5 mg/l, max 407,1 mg/l, min 134,9 mg/l, độ lệch chuẩn 101,2 mg/l (giai đoạn 1) vŕ trung bình 214,4 mg/l, max 390,4 mg/l, min 147,8 mg/l, độ lệch chuẩn 59,0 mg/l (giai đoạn 2), các bể lọc một bậc ở giai đoạn 1 đều cho phép đạt tiệu chuẩn cột B, và các bể lọc theo sơ đồ 2 bậc ở giai đoạn 2 cho phép xấp xỉ đạt tiệu chuẩn cột A, TCVN 5945 - 1995 theo COD. Kết quả nghiên cứu giai đoạn 1 cho thấy các bể có trồng cây với cùng vật liệu có hiệu suất xử lý tốt và ổn định hơn các bình không trồng cây. Vai trò chuyển hóa các chất bẩn hữu cơ của hệ vi sinh vật trên bộ rễ và thân cây, sự vận chuyển dưỡng khí qua hệ thực vật, vai trò phân bổ đều tải trọng và tránh tắc, tránh dòng chảy tắt bể của bộ rễ cây, và một loạt các yếu tố liên quan phức tạp khác... là nguyên nhân dẫn đến hiệu quả xử lý cao của bể lọc có trồng cây. Không có sự khác nhau đáng kể về hiệu suất loại bỏ COD giữa các bể có vật liệu lọc khác nhau.

Hiệu quả xử lý theo cặn lơ lửng (SS)

Với hàm lượng cặn lơ lửng đầu vào trung bình 94,3 mg/l, max 150 mg/l, min 45 mg/l, độ lệch chuẩn 43,2 mg/l (giai đoạn 1) vớ trung bình 189,6 mg/l, max 303 mg/l, min 69 mg/l, độ lệch chuẩn 48,4 mg/l (giai đoạn 2), các bể lọc theo sơ đồ 1 bậc vớ sơ đồ 2 bậc đều cho phép đạt tiệu chuẩn cột A, TCVN 5945 - 1995 và mức 1, TCVN 6772 - 2000 theo SS. Hàm lượng SS trong nước thải đầu ra các bể một bậc ở giai đoạn 1 đều nhỏ hơn 27 mg/l (trung bểnh 10,5 - 19 mg/l). Bể với vật liệu sỏi hạt nhỏ có hiệu suất cao hơn so với bể có vật liệu gạch vỡ. Riêng bình không trồng cây B3 với vật liệu lọc là gạch vỡ, hiệu suất xử lý có thấp hơn, chủ yếu do độ rỗng giữa các hạt vật liệu lớn, khi mớng vi sinh trong bể ở giai đoạn đầu chưa phát triển lấp kín các khe rỗng, cỡn ở giai đoạn sau, việc không trồng cây có thể dẫn đến hiện tượng chảy tắt trong bể lọc. Sơ đồ nối tiếp 2 bậc ở giai đoạn cho phép đạt hiệu quả xử lý theo SS tăng vớ đạt sự ổn định rố rệt (SS đầu ra trung bểnh 5,4 - 6,1 mg/l, max 14 - 23 mg/l, min 1 mg/l, độ lệch chuẩn 3,7 - 5,9 mg/l).

Hiệu quả xử lý theo Nitơ

Các kết quả nghiên cứu ở cả 2 giai đoạn cho thấy, bể lọc trồng cây 1 bậc cho phép loại bỏ được 37 - 62% Nitơ (theo Nitơ tổng số T-N). Các bể có trồng cây đều cho kết quả tốt hơn rố rệt so với bể không trồng cây. Sơ đồ nối tiếp 2 bậc cho phép đạt hiệu quả xử lý Nitơ tăng rố rệt. Tuy nhiên, chất lượng nước đầu ra theo chỉ tiệu T-N và NH4-N chưa đạt tiêu chuẩn loại A/B, TCVN 5945 - 1995. Với mục đích tái sử dụng nước thải để tưới tiệu, thì lượng chất dinh dưỡng trong nước thải đầu ra còn cao là có lợi cho cây trồng. Trong trường hợp cần xử lý nitơ ở mức độ cao hơn, có thể tăng cường quá trểnh nitrat hóa trong bể lọc trồng cây không ngập nước bậc 1, sau đó mới cho sang bể ngập nước bậc 2 để khử nitơ.

Hiệu quả xử lý theo Phốt pho (T-P)

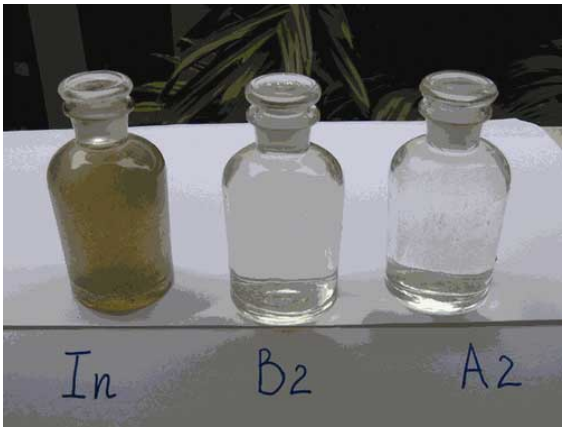
Với nồng độ T-P trong nước thải đầu vớo trung bình 11,6 mg/l (giai đoạn 1), sơ đồ 1 bậc cho phép đạt nồng độ trung bểnh của T-P đầu ra sau bể lọc sỏi lớ 4,9 - 5,3 mg/l (tương đương tiệu chuẩn cột B, TCVN 5945 - 1995), sau bể lọc gạch vỡ là 6,7 - 7,6 mg/l (tương đương cột C). Do quá trình loại bỏ phôtpho trong bể lọc chủ yếu dựa vào cơ chế giữ cặn (chứa phôtpho) bằng lắng - lọc và hấp phụ PO43- lên bề mặt các hạt vật liệu, nên hình dáng, kích thước hạt vật liệu, thành phần vật liệu đóng vai trò quan trọng. Bên cạnh đó, bể lọc có trồng cây cũng cho phép đạt hiệu suất loại phôtpho cao hơn bể không trồng cây. Sơ đồ nối tiếp 2 bậc ở giai đoạn 2 cho phép đạt hiệu quả xử lý theo T-P tăng rố rệt (T-P trong nước thải đầu vớo trung bình 5,6 mg/l, đầu ra trung bình 1,5 - 1,7 mg/l), đạt tiêu chuẩn cột A, TCVN 5945 - 1995.

Hiệu suất xử lý Nitơ và Phôtpho cao là ưu thế rất quan trọng của công nghệ xử lý nước thải bằng bãi lọc trồng cây dòng chảy thẳng đứng, điều không thực hiện được bằng công nghệ xử lý sinh học bậc 2 truyền thống, hay rất tốn kém vớ khó ổn định trong các công trểnh làm sạch sinh học bậc 3 trong điều kiện nhân tạo.

Hiệu suất xử lý theo các chỉ tiêu vi sinh vật

Faecal Coli và Coli tổng số là 2 chỉ tiêu được phân tích trong 2 giai đoạn nghiện cứu. Kết quả cho thấy chất lượng nước đầu ra sau bể lọc trồng cây dĩng chảy thẳng đứng 1 hoặc

2 bậc, với chế độ bể luôn ngập nước, vẫn cĩn chưa đáp ứng tiẹu chuẩn về mặt vi sinh. Hiệu suất loại bỏ vi sinh theo Faecal Coli và Coli tổng số chỉ đạt khoảng 92-97%. Môi trường kỵ khí chiếm ưu thế trong phần lớn thời gian lưu nước của bể là nguyên nhân chính dẫn đến việc loại bỏ vi sinh đạt hiệu suất không cao. Có thể khắc phục tĕnh trạng này bằng cách tăng cường môi trường hiếu khí trong bể, thông qua phân phối nước vào bể và thay đổi mực nước trong bể, hay tăng thời gian lưu nước trong bể.



KẾT LUẬN

Các kết quả nghiên cứu cho thấy, hiệu suất xử lý nước thải trong bãi lọc trồng cây dòng chảy thẳng đứng, sử dụng vật liệu lọc sỏi và gạch vỡ, luôn ngập nước là rất tốt. Hệ thống làm việc ổn định, dao động chất lượng nước đầu ra không lớn. Với sơ đồ 1 bậc, chất lượng nước đầu ra sau bể lọc trồng cây cho phép đạt được tiẹu chuẩn cột B, TCVN 5945-1995 đối với các chỉ tiẹu COD, SS, TP. Với sơ đồ 2 bậc nối tiếp, chất lượng nước đầu ra sau bể lọc trồng cây đạt tiẹu chuẩn cột A, TCVN 5945 - 1995 hay mức 1, TCVN 6772 - 2000 theo COD, SS, TP. Tuy nhiên, với chế độ luôn ngập nước, chỉ tiêu NH4-N và vi sinh vật trong nước đầu ra còn vượt quá tiêu chuẩn.

Bể lọc có trồng cây cho phép đạt hiệu suất xử lý cao hơn so với bể lọc không trồng cây, theo tất cả các chỉ tiêu nghiên cứu. Bên cạnh đó, bãi lọc ngầm trồng cây có dòng chảy thẳng đứng sử dụng vật liệu sỏi hoặc gạch để xử lí nước thải sau bể tự hoại, trồng các loại thực vật nước dễ kiếm, phổ biến ở Việt nam như cỏ nến, thủy trúc, sậy, phát lộc, mai nước,... cho phép đạt tiẹu chuẩn xả ra môi trường hay tái sử dụng lại nước thải, là công nghệ phù hợp với điều kiện của Việt Nam, nhất là cho quy mô hộ, nhóm hộ gia đình, các điểm du lịch, dịch vụ, các trang trại, làng nghề...