

# Cơ sở khoa học và thực tiễn để ứng dụng bãi lọc trồng cây xử lý bùn hồ đô thị Hà Nội

Scientific and practical basis for application of sludge treatment wetlands for Hanoi urban lake sediments

> THS TRẦN THÚY ANH<sup>1</sup>, PGS.TS ĐẶNG THỊ THANH HUYỀN<sup>1</sup>, GS.TS NGUYỄN MẠNH KHẢI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Xây dựng Hà Nội,

<sup>2</sup>Trường Đại học Khoa học tự nhiên, ĐHQGHN

## TÓM TẮT

Hà Nội hiện nay đang phải đối mặt với sức ép lớn về diện tích cần thiết dành cho chôn lấp bùn hồ. Số lượng hồ đô thị lớn với ít hồ được cải tạo, nạo vét dẫn đến lượng bùn hình thành và yêu cầu quỹ đất chôn lấp cao trong thời gian tới. Đồng thời, cần có biện pháp để ổn định, loại bỏ các thành phần gây ô nhiễm môi trường tồn tại trong bùn hồ Hà Nội. Bãi lọc trồng cây xử lý bùn (BLTC XLB) đã được áp dụng trên thế giới và Việt Nam trong ổn định bùn thải thoát nước, phân bùn từ các công trình vệ sinh. BLTC XLB đã chứng minh được hiệu quả làm khô, khoáng hoá các chất hữu cơ, loại bỏ kim loại nặng, mầm bệnh trong cùng một công trình, thay vì phải tách riêng nhiều giai đoạn như các công trình làm khô và ổn định bùn khác. Tuy nhiên, BLTC XLB chưa được áp dụng để xử lý bùn hồ đô thị, đặc biệt là với các hồ phú dưỡng như ở Hà Nội. Vì vậy, bài báo này tập trung tìm hiểu cơ chế hoạt động, vận hành của BLTC XLB và hiện trạng quản lý bùn hồ ở Hà Nội. Trên cơ sở đó, đánh giá khả năng ứng dụng BLTC XLB đối với bùn hồ Hà Nội.

**Từ khóa:** Hồ Hà Nội; bãi lọc trồng cây xử lý bùn; quản lý bùn hồ.

## ABSTRACT

Hanoi has recently been facing tremendous pressure in sludge management due to the large number of urban lakes with few renovated and dredged lakes, leading to a high amount of sludge generation and a high requirement for landfill land. At the same time, measures need to be taken to stabilize and eliminate environmental pollutants in Hanoi lake sedimentation. Sludge treatment wetlands (STWs) have been applied worldwide, including in Vietnam, to stabilize drainage and fecal sludge. STWs have proven effective in drying, mineralizing organic substances, and simultaneously removing heavy metals and pathogens instead of separating drying and stabilizing sludge facilities. However, STWs have yet to be applied to treat urban lake sludge, especially for eutrophic lakes like in Hanoi. Therefore, this article focuses on understanding the operating mechanism of STWs and the current status of lake sludge management in Hanoi to evaluate the possibility of applying STWs for Hanoi lake sedimentation.

**Keywords:** Hanoi urban lakes; lake sedimentation management; sludge treatment wetlands.

## 1. MỞ ĐẦU

Hồ đô thị (HĐT) có vai trò quan trọng trong hệ thống thoát nước (HTTN) và hệ sinh thái đô thị, đặc biệt với thành phố nằm ở địa hình thấp, bằng phẳng và nhiều mưa như Hà Nội. Thời gian gần đây, các HĐT ở Hà Nội bị suy thoái nghiêm trọng về chất lượng nước và chiều sâu điều hòa của hồ. Bùn cặn lắng đọng có nguy cơ gây ô nhiễm và phú dưỡng hồ. Bùn HĐT Hà Nội có độ ẩm lớn, nồng độ cao các chất hữu cơ dễ phân hủy sinh học cũng như chất dinh dưỡng. Do đó việc làm khô bùn, xử lý bùn, tái chế bùn đã được nhiều nhóm nghiên cứu quan tâm (Nguyễn Xuân Hoàn, 2023; Đặng Thị Thanh Huyền & nnk, 2023; Thụy Anh Tran & nnk, 2022, 2023). Đồng thời, trầm tích có thành phần khoáng vật cao, chứa một số kim loại nặng nhưng chưa vượt ngưỡng giới hạn của các quy phạm hiện hành (Trần Thúy Anh & nnk, 2022).

Theo Báo cáo số 1604/BC-TNHN ngày 07/9/2017 của Công ty TNHH MTV Thoát nước Hà Nội về "Hiện trạng quản lý hồ sơ theo

phân cấp và hiện trạng môi trường các hồ trên địa bàn Thành phố Hà Nội", trên địa bàn các quận nội thành của thành phố Hà Nội có khoảng 125 hồ với tổng diện tích 1.158 ha (Công ty TNHH MTV Thoát nước Hà Nội, 2017). Tùy theo đặc điểm cải tạo và tiếp nhận nước thải từ khu vực xung quanh, các HĐT Hà Nội có thể được chia làm 2 nhóm: 1) hồ loại 1 là hồ đã tách nước thải, được cải tạo, và 2) hồ loại 2 là hồ chưa tách nước thải, gồm nhóm 31 hồ đang hoặc chưa cải tạo thuộc phạm vi quản lý của Công ty thoát nước Hà Nội và các hồ do địa phương quản lý. Hiện nay nạo vét bùn lắng đọng là giải pháp đơn giản, phù hợp với điều kiện kinh tế, kỹ thuật hiện có để giải quyết ô nhiễm và nâng cao hiệu quả sử dụng HĐT Hà Nội. Tuy nhiên, theo sau phương pháp này, cần có các giải pháp phù hợp để xử lý, tái sử dụng bùn HĐT sau khi được nạo vét.

Trong số các biện pháp xử lý bùn thải đang được sử dụng ở Việt Nam và trên thế giới, bãi lọc trồng cây xử lý bùn (BLTC XLB) theo chế độ tải bán liên tục đã cho hiệu quả tốt trong làm khô và khoáng hoá

bùn thải từ nhà máy xử lý nước thải (NMXLNT), công trình vệ sinh tại chỗ (Stefanakis & nnk, 2014; Gholipour & nnk, 2022). Hiệu quả xử lý nêu trên thay đổi, tùy thuộc vào loại thực vật được trồng trong BLTC XLB (Stefanakis & nnk, 2014). Tuy nhiên, BLTC XLB chưa được áp dụng rộng rãi để xử lý bùn HĐT, đặc biệt là với các hồ phú dưỡng như ở các đô thị Việt Nam. Vì vậy, bài báo này tập trung tìm hiểu hiện trạng quản lý bùn hồ ở Hà Nội, cơ chế hoạt động, vận hành của BLTC XLB và từ đó đánh giá khả năng ứng dụng BLTC XLB đối với bùn hồ Hà Nội.

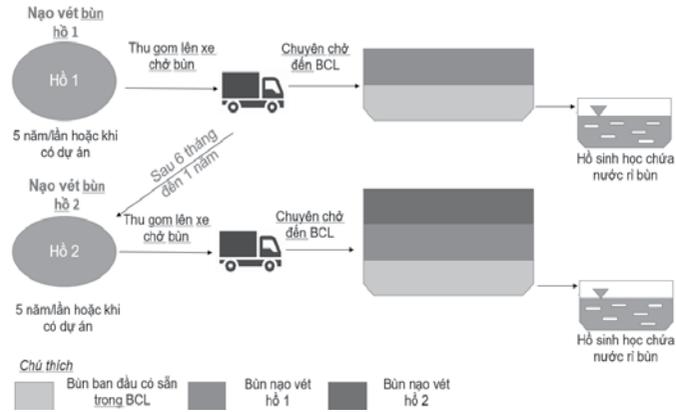
**2. QUY TRÌNH NẠO VÉT VÀ XỬ LÝ Bùn HĐT HÀ NỘI**

Do tiếp nhận nước mưa và nước thải chưa được xử lý, sự lưu thông dòng chảy trong hồ không đảm bảo, khả năng tự làm sạch hạn chế, ... nên các HĐT thường bị ô nhiễm nặng và phú dưỡng. Một hệ quả của quá trình này là HĐT tích tụ dần bùn cặn lắng, làm cho thể tích công tác và khả năng điều tiết nước mưa của hồ giảm xuống, nước hồ dễ bị tái ô nhiễm và tái phú dưỡng. Liên quan đến thành phần bùn cặn lắng đọng trong đó, HĐT Hà Nội có thể được chia thành 2 nhóm:

- Nhóm 1: các hồ đã được nạo vét bùn và cải tạo HTTN xung quanh, đó là các hồ được cải tạo qua các Dự án thoát nước Hà Nội như: Giảng Võ, Thành Công, Thiển Quang, Thanh Nhàn 1, Thanh Nhàn 2A, Thanh Nhàn 2B, Hào Nam, Hồ Mễ, Hoàng Cầu, Xã Đàn, Ngọc Khánh, ... Với các hồ này, hình thức nạo vét bùn hồ là nạo vét cơ giới với xà lan thu gom lớp bùn dày khoảng 1,0-1,5m, tập kết về địa điểm tập trung ven bờ vào ban ngày. Đến ban đêm, bùn sẽ được hút lên xe txe và chuyên chở về bãi chôn lấp của thành phố.

- Nhóm 2: các hồ chưa được cải tạo HTTN và nạo vét bùn. Hầu hết các hồ nhóm 2 mặc dù theo quy định (3-5) năm/lần nạo vét tuy nhiên hàng chục năm nay bùn đáy tích tụ nhưng chưa được xử lý. Các hồ có thể được nạo vét thủ công bằng dụng cụ tự tạo để tách đi lớp bùn ven bờ. Đối với một số hồ cần được cải tạo, kè bờ, nước hồ sẽ được rút hết và máy xúc tiến hành cào bùn.

Với năng lực hiện tại, Công ty Thoát nước Hà Nội có thể nạo vét một đến hai hồ mỗi năm. Theo báo cáo năm 2021, khoảng 65.000 m<sup>3</sup> bùn hồ đầu mối Yên Sở và 3.000 m<sup>3</sup> bùn hồ Bảy Mẫu đã được nạo vét. Lần nạo vét trước thời điểm 2021 của hồ Bảy Mẫu là từ năm 2016. Với quy mô 125 hồ và tổng diện tích 1.158 ha của 12 quận huyện hiện nay (Công ty TNHH MTV Thoát nước Hà Nội, 2017), các hồ của Hà Nội sẽ được nạo vét theo mẻ với chỉ một vài cho đến chục hồ mỗi năm. Vì vậy, tần suất nạo vét của các HĐT ở Hà Nội trên thực tế có thể thưa hơn so với quy định. Quy trình nạo vét bùn hồ ở Hà Nội được thể hiện trên Hình 1 dưới đây.



**Hình 1.** Quy trình nạo vét bùn hồ theo mẻ hiện nay ở Hà Nội

Bùn nạo vét HĐT vẫn chưa có một giải pháp xử lý nào phù hợp ngoài việc chuyên về để đống cùng với các loại bùn thải thoát nước khác như bùn thải NMXLNT, bùn cống, bùn kênh mương, ...

Bãi đổ bùn thoát nước tạm thời của TP Hà Nội là bãi chôn lấp (BCL) Yên Sở, diện tích khoảng 14 ha ở ngoài đê sông Hồng, hiện nay đã gần lấp đầy. Theo Quy hoạch thoát nước Thủ đô Hà Nội đến năm 2030 và tầm nhìn đến năm 2050, TP Hà Nội sẽ có 3 bãi chôn lấp bùn thải thoát nước là Phú Thị, Chương Dương và Sơn Tây với tổng diện tích 23 ha (Quy hoạch thoát nước Thủ đô Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050). TP Hà Nội chuẩn bị triển khai dự án cải tạo môi trường hồ Tây với một lượng lớn bùn trầm tích nạo vét 1.316.547 m<sup>3</sup> nhưng chưa tìm được phương án xử lý và đổ thải (Ban duy tu các công trình hạ tầng kỹ thuật đô thị, 2019). Nước bùn được hình thành từ quá trình chôn lấp bùn vẫn chưa có giải pháp nào ngoài thu gom và đưa về hồ chứa, đóng vai trò như hồ sinh học xử lý nước rỉ bùn. Từ đó, có thể tiềm ẩn nguy cơ gây ô nhiễm nguồn nước ngầm và đất tại khu vực chôn lấp nếu các hồ chứa này không được thiết kế và quản lý phù hợp. Vì vậy, để giảm thiểu ô nhiễm môi trường và hạn chế sử dụng diện tích bãi đổ thải bùn, cần thiết tìm giải pháp quay vòng quỹ đất dành cho chôn lấp bùn hồ. Tiếp theo đó là xử lý và tái sử dụng lượng bùn này một cách phù hợp trên cơ sở phân tích đánh giá toàn diện thành phần, tính chất bùn hồ.

**3. BÃI LỌC TRỒNG CÂY XỬ LÝ Bùn**

Từ năm 1980 trở lại đây, bãi lọc trồng cây xử lý bùn, với khả năng làm khô bùn bằng các quá trình sinh hóa như bốc hơi nước bề mặt, thoát hơi nước nhờ thực vật, thẩm lọc và xử lý chất hữu cơ, đã được sử dụng như một hướng mới xử lý bùn thải nói chung. Ngoài ra, dựa trên cơ chế xử lý bằng thực vật, BLTC XLB còn có ưu điểm hơn các phương pháp lý hóa truyền thống ở khả năng loại bỏ các kim loại nặng, chất hữu cơ độc hại và giảm khí thải nhà kính (Uggetti & nnk, 2010a, 2011). Theo Gholipour & nnk (2022), tính đến 2022, có 90% các nghiên cứu về BLTC XLB tìm hiểu về bùn thải thoát nước từ NMXLNT, công trình vệ sinh, bể tự hoại và khoảng 4% nghiên cứu về bùn từ thoát nước thải công nghiệp và một vài nghiên cứu về bùn từ hoạt động nuôi trồng ngư nghiệp, chăn nuôi (Gholipour & nnk, 2022).

**3.1. Cấu tạo BLTC XLB**

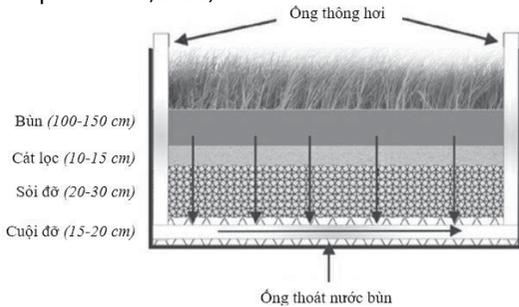
Cấu tạo của BLTC XLB tương tự như của BLTC dòng chảy ngầm theo phương thẳng đứng và các sản phẩm bùn truyền thống. BLTC XLB thường là các bể bê tông, hình chữ nhật (Uggetti & nnk, 2010b) hoặc bể bằng gạch, hình thang (Peruzzi & nnk, 2013). Tính từ dưới lên trên, cấu tạo của một BLTC XLB thông thường gồm có: lớp đáy, vật liệu đỡ, vật liệu lọc, lớp bùn và khoảng không gian trồng cây (Hình 2).

- Đáy BLTC XLB có thể là bê tông hoặc lớp đất, có phủ vật liệu chống thấm là màng địa kỹ thuật HDPE để ngăn nước bùn thấm rỉ ra môi trường. Đáy BLTC XLB thường có độ dốc tối thiểu 1%, tạo điều kiện thu gom nước rỉ bùn từ đầu xuống chảy về cuối xuống (Uggetti & nnk, 2010b). Nước rỉ bùn được thu gom nhờ hệ thống ống thoát nước có đục lỗ, đặt phía trên lớp chống thấm, phía dưới của lớp vật liệu đỡ. Để tăng cường oxy cho BLTC XLB, ống thoát nước được kết nối với hệ thống ống phân phối bùn. Ống phân phối bùn thường cao hơn lớp vật liệu lọc đến 1 mét để tránh bị tắc bởi lớp bùn mới tãi vào. Không khí sẽ được khuếch tán từ ngoài vào trong lớp bùn đáy nhờ hệ thống lỗ của ống thoát nước (Uggetti & nnk, 2010b). Hệ thống thoát nước rỉ bùn khi đó sẽ giúp cho hệ BLTC XLB không bị yếm khí (Stefanakis & nnk, 2014). Đồng thời, ống sục khí cũng tăng cường quá trình khử nước bùn (Stefanakis & nnk, 2011).

- Lớp vật liệu đỡ thường được sử dụng là sỏi, đá cuội hoặc đá lớn, có thể một lớp hoặc gồm nhiều lớp với cấp khác nhau. Thông thường, các lớp sỏi khác nhau với kích thước hạt tăng dần từ trên xuống dưới được sử dụng. Độ dày điển hình cho mỗi lớp cát, sỏi, đá cuội của BLTC XLB là 15-20 cm, 20-30 cm đối với sỏi trung

bình và 10-15 cm đối với cát. Tổng chiều dày của các lớp thay đổi từ 30-70 cm. Phía trên lớp cát, các ống phân phối bùn có thể được đặt ở một góc của BLTC XLB hoặc dọc theo bề mặt BLTC XLB (Stefanakis & nnk, 2011, 2014, Ugetti & nnk, 2010a).

- Khoảng không gian trồng cây: cao từ 1,0-1,5 m phía trên lớp vật liệu đỡ hoặc vật liệu lọc. Khoảng không này đảm bảo cho bùn tích tụ dần qua các đợt tải bùn và cây phát triển dần theo thời gian (Gholipour & nnk, 2022). Cây trồng trong BLTC XLB góp phần tạo ra các điều kiện cần thiết ảnh hưởng trực tiếp hoặc gián tiếp đến khả năng loại bỏ các chất ô nhiễm. Các loại thực vật phổ biến trong BLTC XLB khá đa dạng, tùy thuộc vào điều kiện khí hậu của địa phương. Trên tổng số 76 nghiên cứu ở quy mô pilot và quy mô lớn trên toàn thế giới cho thấy có 23 loài thực vật đã được thử nghiệm, gồm cây sậy (*Phragmites australis*), cây cỏ hương bồ *Typha* spp., Cói *Cyperus* spp. (Gholipour & nnk, 2022).



Hình 2. Cấu tạo BLTC XLB (Gholipour & nnk, 2022)

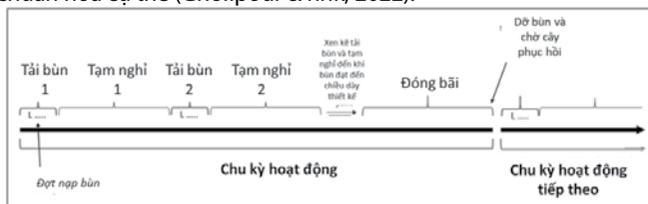
**3.2. Chế độ hoạt động của BLTC XLB**

Bãi lọc trồng cây xử lý bùn áp dụng cho các loại bùn thải thoát nước, bùn thải từ công trình vệ sinh thường hoạt động theo chế độ bán liên tục hoặc tải ngắt quãng với nhiều chu kỳ hoạt động. Mỗi chu kỳ hoạt động bao gồm các khoảng thời gian tải (từ một vài ngày đến vài tuần) xen kẽ thời gian tạm nghỉ (vài tuần đến vài tháng) và kết thúc bằng giai đoạn nghỉ của bãi (vài tháng đến vài năm) (Hình 3)

**Giai đoạn tải:** BLTC XLB được xây dựng và cây non được trồng vào các vị trí xác định trong luống với mật độ thiết kế. Đây là giai đoạn tạo điều kiện cho sự phát triển, thích nghi của thảm thực vật, có thể kéo dài đến 2 năm (Nielsen, 2003).

**Giai đoạn nghỉ:** Sau khi nạp bùn đến tải lượng thiết kế, luống của BLTC XLB được giữ nguyên trong giai đoạn nghỉ. Cuối giai đoạn này, bùn khô sẽ được nạo vét đi, cây được dỡ bỏ, trả lại luống làm khô bùn mới.

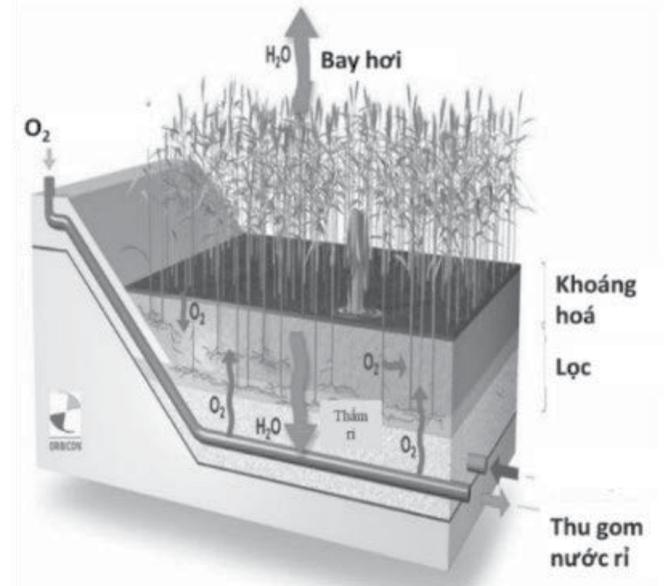
BLTC XLB có thể được sử dụng trong gần 10 hoặc 15 năm, tùy thuộc vào chiều cao lớp bùn tích lũy và khoảng không phía trên luống (Brix, 2017). Khi BLTC XLB được thiết kế chính xác, hàm lượng chất rắn (TS) sau 8-12 năm hoạt động có thể vượt quá 40% (tùy thuộc vào tải trọng bùn SLR và khí hậu). Đồng thời, quá trình khoáng hoá cũng diễn ra với hơn 25% lượng chất hữu cơ có thể được loại bỏ (Stefanakis & nnk, 2014). Hiện nay, tải lượng bùn, thời gian tải bùn, thời gian tạm nghỉ và thời gian nghỉ trong mỗi chu kỳ phụ thuộc vào nhiều yếu tố như loại bùn, khí hậu địa phương và chưa được tiêu chuẩn hoá cụ thể (Gholipour & nnk, 2022).



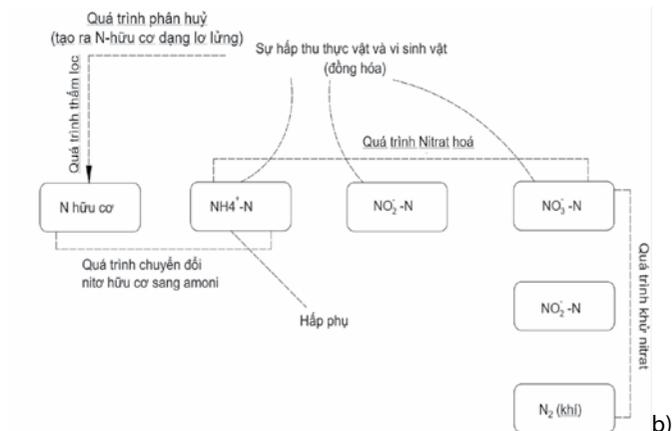
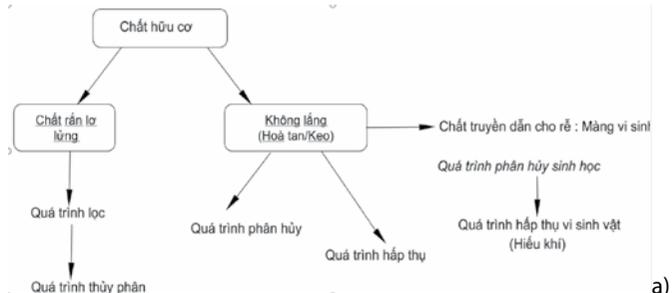
Hình 3. Chế độ hoạt động bán liên tục gồm nhiều chu kỳ của BLTC XLB với bùn thải thoát nước, công trình vệ sinh (Gholipour & nnk, 2022)

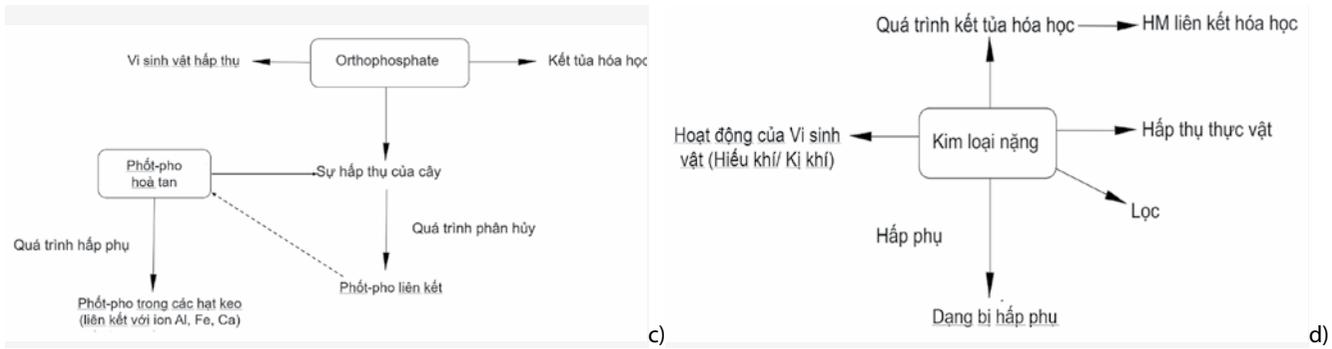
**3.3. Cơ chế quá trình xử lý bùn bằng BLTC XLB**

Khi tải bùn vào BLTC XLB, nước trong bùn được thấm xuống dưới qua lớp cát lọc, sỏi đỡ và được thải ra ngoài bằng đường ống thoát kết hợp thông hơi (Ugetti & nnk, 2010b; Brix, 2017). Trong các trạm xử lý nước thải áp dụng công nghệ làm khô bùn tự nhiên, bùn được làm khô nhờ hai quá trình: (a) thấm lọc, thoát nước và (b) thoát hơi nước bề mặt và nhờ thực vật (Evapotranspiration, ET) (Stefanakis & nnk, 2014) (Hình 4). Theo quá trình vận hành kéo dài của BLTC XLB, bùn sẽ được khoáng hóa, loại bỏ các chất hữu cơ, giảm bớt thành phần dinh dưỡng (N, P), kim loại nặng, các mầm bệnh theo các cơ chế như trong Hình 5.a - 5.d.



Hình 4. Cơ chế làm khô và ổn định bùn trong BLTC XLB (Nielsen & Stefanakis, 2020)





**Hình 5.** Quá trình ổn định các chất trong BLTC XLB: (a) khoáng hoá chất hữu cơ; (b) xử lý Ni-tơ; (c) xử lý Phốt-pho; (d) loại bỏ kim loại nặng

Nhờ các quá trình trên diễn ra trong cùng một công trình, BLTC XLB cho hiệu quả làm khô và ổn định các chất khá tốt (Bảng 1). Với bùn hoạt tính từ nhà máy XLNT, tải trọng bùn trong BLTC tương đối thấp (30-75 kgTS/m<sup>2</sup>/năm), hàm lượng chất rắn TS tăng 15,5% - 62%,

độ giảm thể tích 71% - 96%, hàm lượng chất rắn dễ bay hơi VS giảm còn 46 - 51% sau toàn chu kỳ hoạt động. Với phân bùn từ các công trình vệ sinh tại chỗ và bể tự hoại, BLTC XLB giúp giảm thể tích bùn 90% - 97% và hàm lượng chất rắn dễ bay hơi còn 42% - 58%.

**Bảng 1. Hiệu quả làm khô và khoáng hoá với các loại bùn khác nhau của bãi lọc trồng cây xử lý bùn**

Loại bùn	Tải trọng bùn (kg TS/ m <sup>2</sup> / năm)	TS (%)		VS (%)		Giảm thể tích (%)	Loại bỏ VS (%)	TLTK
		Bùn vào	Bùn cuối	Bùn vào	Bùn cuối			
Bùn hoạt tính	50; 60	0,5	40	-	-	-	-	Stefanakis & nnk, 2014
Phân bùn vệ sinh	100; 200; 300	4,0	51	65	-	90	-	Kengne & nnk, 2009
Bùn hoạt tính đã nén	20; 40	2,5	16-24	60-72	50	71-81	24	Kengne & nnk, 2009; Uggetti & nnk, 2012
	30; 60; 75	3,0	50-65	74	46 - 51	96	35	
Bùn bể tự hoại	100; 250; 350	1 - 6	17 - 21	50 - 85	42 - 58	97	24 - 26	Stefanakis & Tshirinzi, 2012; Sun và nnk, 2017

**3.4. Ứng dụng BLTC XLB ở Việt Nam**

Mặc dù BLTC XLB chưa được áp dụng nhiều ở Việt Nam nhưng một số loại cây địa phương cũng đã được áp dụng cho các công trình xử lý bùn bể tự hoại hoặc bùn trạm xử lý nước thải khu công nghiệp. Trong các nghiên cứu ở Việt Nam, một số loại cây được áp dụng như cỏ voi và thủy trúc đã cho kết quả làm khô và ổn định bùn tốt.

Nguyễn Thị Kim Thái & nnk (2005) đã nghiên cứu trên mô hình thử nghiệm bãi lọc có trồng cỏ voi (*Pennisetum purpureum*) để ổn định bùn bể tự hoại. Thử nghiệm áp dụng công nghệ khử nước và ổn định sinh hoá trong các khoang lọc có trồng cây khi xử lý phân bùn ở TP Nam Định. Trong điều kiện thông hút và thu gom không thường xuyên phân bùn từ các bể tự hoại, tải trọng nạp vào công trình lọc có trồng cây thấp, phân bùn có khối lượng ít sẽ cho hiệu suất khử các hợp chất hữu cơ lên tới 93%, hiệu quả khử vi trùng gây bệnh trên 90% và chất lỏng có thể xả ra sau khi xử lý trong các hồ ổn định. Các BLTC đã được lựa chọn là phương án được phù hợp tại Nam Định sau các đánh giá chi tiết về tất cả các công nghệ xử lý chất thải từ bể tự hoại sẵn có tại thành phố này (Nguyễn Thị Kim Thái & nnk, 2006).

Đối với bùn từ NMXLNT khu công nghiệp Vĩnh Lộc, BLTC XLB cũng cho thấy hiệu quả tốt trong loại bỏ chất hữu cơ và dinh dưỡng. Với tải trọng bùn 3,04m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/năm, BLTC XLB với cây thủy trúc (*Cyperus alternifolius*) giúp giảm nồng độ tổng cacbon hữu cơ (TOC), tổng Phốt-pho (TP) và tổng Ni-tơ Kjeldahl (TKN) lần lượt là 41%, 40% và 47%. Hiệu quả loại bỏ tốt cũng được nhận thấy với các tải trọng bùn khác như 1,52 và 6,08 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/năm (Nguyễn Thị Thanh Phương & Nguyễn Văn Phước, 2014).

**4. KẾT LUẬN**

Bãi lọc trồng cây xử lý bùn đã được áp dụng rộng rãi trên thế giới và rải rác ở Việt Nam trong ổn định bùn thải NMXLNT, phân bùn từ các công trình vệ sinh. BLTC XLB đã chứng minh được hiệu quả làm khô, khoáng hoá các chất hữu cơ, loại bỏ kim loại nặng, mầm bệnh trong cùng một công trình, thay vì phải tách riêng nhiều giai đoạn như các công trình làm khô và ổn định bùn khác. Tuy nhiên, các BLTC XLB chủ yếu hoạt động theo chế độ tải ngắt quãng hay bán liên tục với thời gian vận hành kéo dài từ vài năm đến hơn chục năm. Vì thế, chế độ trên sẽ không phù hợp với

những loại bùn có nguồn phát sinh gián đoạn, tùy thuộc vào chu kỳ nạo vét như bùn hồ.

Hà Nội hiện nay đang phải đối mặt với sức ép lớn về diện tích cần thiết dành cho chôn lấp bùn HDT. Số lượng hồ đô thị lớn với nhiều hồ ít được cải tạo, nạo vét dẫn đến lượng bùn hình thành và yêu cầu quỹ đất chôn lấp cao trong thời gian tới. Các hồ Hà Nội thường được nạo vét theo mẻ với chu kỳ khác nhau tùy theo kế hoạch của đơn vị chủ quản. Tần suất, năng lực nạo vét của các đơn vị này kèm theo khả năng tiếp nhận có hạn của bãi chôn lấp Yên Sở đặt ra yêu cầu cần rút ngắn chu kỳ chôn lấp bùn hồ hay quay vòng quỹ đất của BCL. Đồng thời, cần có biện pháp để ổn định, loại bỏ các thành phần gây ô nhiễm môi trường tồn tại trong bùn HDT Hà Nội. Do đó, BLTC XLB hoạt động theo chế độ mẻ, tương ứng với khoảng thời gian giữa hai lần vận chuyển bùn về BCL, là một giải pháp khả thi đối với bùn hồ Hà Nội.

#### Lời cảm ơn

Bài báo được hoàn thành dưới sự hỗ trợ kinh phí của đề tài mã số TNMT.05.05, Phòng thí nghiệm trọng điểm Công nghệ môi trường xanh và tái chế chất thải, Trường Đại học Khoa học tự nhiên, ĐHQGHN. Tập thể tác giả chân thành cảm ơn sự tài trợ kinh phí của đề tài nêu trên.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. 725/QĐ-TTg: phê duyệt quy hoạch thoát nước Thủ đô Hà Nội đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050 (2013).
- [2]. Trần Thuý Anh, Trần Đức Hạ, Đặng Thị Thanh Huyền, & Nguyễn Mạnh Khải. (2022). Nghiên cứu thành phần hoá học chủ yếu của bùn trầm tích hồ đô thị Hà Nội. *Tạp chí Cấp thoát nước Việt Nam*, 139(3/2022), 66-71.
- [3]. Anh, T.T., Huyen, D. T. T., Tran, D. H., & Nguyen, M. K. (2022). Dewatering of urban lake sediments using constructed wetlands: a case study in Hanoi, Vietnam. *GEOMATE Journal*, 23(99), 100-107.
- [4]. Anh Thuy Tran, Huyen Thanh Thi Dang, Ha Duc Tran, Khai Manh Nguyen. 2023. Evaluating of Dewatering Process and Stabilization of Pennisetum purpureum- Vegetated Constructed Wetland for Urban Lakes in Vietnam. Conference proceeding. *Water and Environment Technology Conference Online 2023 (WET2023-online) on July 8-9, 2023*.
- [5]. Ban duy tu các công trình hạ tầng kỹ thuật đô thị. (2019). *Công tác quản lý các hồ khu vực nội thành Hà Nội*.
- [6]. Brix, H. (2017). Sludge dewatering and mineralization in sludge treatment reed beds. In *Water (Switzerland)* (Vol. 9, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/w9030160>.
- [7]. Công ty TNHH MTV Thoát nước Hà Nội. (2017). *Report of urban wastewater management in 2016*.
- [8]. De Maeseneer, J. L. (1997). Constructed wetlands for sludge dewatering. *Water Science and Technology*, 35(5), 279-285.
- [9]. Gholipour, A., Fragoso, R., Duarte, E., & Galvão, A. (2022). Sludge Treatment Reed Bed under different climates: A review using meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 843(Febuary), 156953. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156953>.
- [10]. Huan, N. X., Thanh Huyen, D. T., Ngoc Lan, P. T., Anh, T. T., Huyen Nga, T. T., Quyen, H. D., Thuy, P. T., & Khai, N. M. (2023). Reuse of agrowastes for dewatering enhancement of sewer sediments for brick production. *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (JSTCE) - HUCE*, 17(2), 70-82. [https://doi.org/10.31814/stce.huce.2023-17\(2\)-07](https://doi.org/10.31814/stce.huce.2023-17(2)-07).
- [11]. Huyen T.T. Dang, Lan T.N. Pham, Thuy T. Pham, Huan X. Nguyen, Nga T.H. Tran & Khai M. Nguyen (2023) Effect of biowaste and construction waste additives on mechanical dewaterability of lake sediment for brick production, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 73:8, 625-637, DOI: 10.1080/10962247.2023.2228265.
- [12]. Kengne, I. M., Akoa, A., & Koné, D. (2009). Recovery of biosolids from constructed wetlands used for faecal sludge dewatering in tropical regions. *Environmental Science and Technology*, 43(17), 6816-6821. <https://doi.org/10.1021/es803279y>.
- [13]. Nielsen, S., & Stefanakis, A. I. (2020). Sustainable dewatering of industrial sludges in sludge treatment reed beds: Experiences from pilot and full-scale studies under different climates. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(21), 1-21. <https://doi.org/10.3390/app10217446>.

[14]. Peruzzi, E., Nielsen, S., Macci, C., Doni, S., Iannelli, R., Chiarugi, M., & Masciandaro, G. (2013). Organic matter stabilization in reed bed systems: Danish and Italian examples. *Water Science and Technology*, 68(8), 1888-1894. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.448>.

Phuong, N. T. T., & Phuoc, N. Van. (2014). Study on the ability of *Cyperus alternifolius* for sludge treatment in constructed wetland. *Vietnam Journal of Chemistry*, 52(2), 211-216. <https://doi.org/https://doi.org/10.15625/4883>

Stefanakis, A. I., & Tsihrintzis, V. A. (2011). Dewatering mechanisms in pilot-scale Sludge Drying Reed Beds: Effect of design and operational parameters. *Chemical Engineering Journal*, 172(1), 430-443. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.05.111>

Stefanakis, A. I., & Tsihrintzis, V. A. (2012). Effect of various design and operation parameters on performance of pilot-scale Sludge Drying Reed Beds. *Ecological Engineering*, 38(1), 65-78. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.10.003>

Stefanakis, A., Akrotos, C. S., & Tsihrintzis, V. A. (2014). *Vertical flow constructed wetlands: eco-engineering systems for wastewater and sludge treatment*. Newnes.

Sun, Z.-Y., Liu, K., Tan, L., Tang, Y.-Q., & Kida, K. (2017). Development of an efficient anaerobic co-digestion process for garbage, excreta, and septic tank sludge to create a resource recycling-oriented society. *Waste Management*, 61, 188-194.

Nguyễn Thị Kim Thái, Nguyễn Quốc Hoà, Trần Thị Minh Nguyệt, Phạm Duy Lân (2006). *Báo cáo nghiên cứu khả năng ứng dụng bãi lọc ngầm trồng cây trong xử lý phân bùn*.

Uggetti, E., Ferrer, I., Carretero, J., & García, J. (2012). Performance of sludge treatment wetlands using different plant species and porous media. *Journal of Hazardous Materials*, 217-218, 263-270. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.03.027>

Uggetti, E., Ferrer, I., Llorens, E., & García, J. (2010a). Sludge treatment wetlands: A review on the state of the art. *Bioresour. Technol.*, 101(9), 2905-2912. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.102>

Uggetti, E., Ferrer, I., Llorens, E., & García, J. (2010b). Sludge treatment wetlands: A review on the state of the art. In *Bioresour. Technol.* (Vol. 101, Issue 9, pp. 2905-2912). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.102>

Uggetti, E., Ferrer, I., Molist, J., & García, J. (2011). Technical, economic and environmental assessment of sludge treatment wetlands. *Water Research*, 45(2), 573-582. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.09.019>

Uggetti, E., Ferrer, I., Nielsen, S., Arias, C., Brix, H., & García, J. (2012). Characteristics of biosolids from sludge treatment wetlands for agricultural reuse. *Ecological Engineering*, 40, 210-216. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.12.030>