

Hướng dẫn thiết kế đất ngập nước nổi xử lý nước – Quan điểm của Việt Nam

Ngô Thụy Diễm Trang^{a*}, Võ Thị Phương Thảo^a, Nguyễn Châu Thanh Tùng^b, Nguyễn Phương Thịnh^a, Nigel K. Downes^a, Nevelina Pachova^c, Veeriah Jegatheesan^d

^a Khoa Môi trường & Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ, Khu II, đường 3/2, Quận Ninh Kiều, Thành phố Cần Thơ, Việt Nam.

^b Trường Nông nghiệp, Trường Đại học Cần Thơ, Khu II, đường 3/2, Quận Ninh Kiều, Thành phố Cần Thơ, Việt Nam.

^c Trường Đại học RMIT Châu Âu, c/Bilbao 72, 08005 Barcelona, Tây Ban Nha

^d Trường Kỹ thuật và Nước: Trung tâm Nghiên cứu Công nghệ và Công cụ Hiệu quả (WETT) Research, Trường Đại học RMIT, Melbourne, Victoria, 3000, Úc.

* Tác giả chịu trách nhiệm: ntdtrang@ctu.edu.vn; Tel: +84 (0) 909 243 703.

Tóm tắt: Đất ngập nước nổi nhân tạo (CFW) được biết đến như một công nghệ sinh thái đầy hứa hẹn để phục hồi các thủy vực, trong khi chức năng của CFWs đã được nghiên cứu rộng rãi trong các môi trường được kiểm soát như các mô hình phòng thí nghiệm. Chưa có các ứng dụng ngoài thực tiễn nhằm cải thiện sức khỏe các hệ sinh thái. Để giải quyết khoảng cách này, một dự án có tiêu đề là “Đánh giá tổng hợp các thực tiễn hiện có và phát triển các lộ trình để tích hợp hiệu quả việc xử lý nước dựa vào thiên nhiên tại các khu vực đô thị ở Sri Lanka, Philippines và Việt Nam” được tài trợ bởi Mạng lưới châu Á-Thái Bình Dương vì sự thay đổi toàn cầu (APN-GCR) được thực hiện. Trong khuôn khổ dự án, 6 CFWs được thiết kế và xây dựng tại hồ Búng Xáng, thành phố Cần Thơ, Việt Nam vào năm 2022 bởi Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên (CENRES), trường Đại học Cần Thơ (CTU). Dựa trên kết quả và thông tin chi tiết đạt được từ các ứng dụng tại chỗ này, tài liệu hướng dẫn chi tiết các bước thiết kế và bảo trì CFWs được phát triển. Tài liệu hướng dẫn tổng hợp các kiến thức thu thập được và cung cấp cái nhìn tổng quan về các nguyên tắc hoạt động của CFWs. Thông tin chi tiết về xây dựng, bao gồm quy trình chính thức, lựa chọn thực vật và vị trí, được trình bày trong hướng dẫn. Ngoài ra, hướng dẫn này còn đề cập đến những thách thức có thể phát sinh trong quá trình bảo trì và đưa ra các khuyến nghị cũng như giải pháp để đảm bảo CFWs hoạt động tốt. Hướng dẫn này được kỳ vọng sẽ đóng vai trò là nguồn tài nguyên quý giá cho các học viên và nhà nghiên cứu tham gia thiết kế, lắp đặt và vận hành CFWs cho các mục đích quản lý tài nguyên nước cụ thể. Bằng cách cung cấp hướng dẫn thực tế, hướng dẫn này nhằm mục đích thúc đẩy việc triển khai và ứng dụng CFWs một cách rộng rãi hơn và đóng góp vào việc quản lý và phục hồi bền vững các thủy vực.

Từ khóa: *Đất ngập nước nổi nhân tạo, công nghệ thân thiện sinh thái, giải pháp dựa vào tự nhiên (NbS), thành phố bền vững, quang cảnh đô thị, quản lý nước*

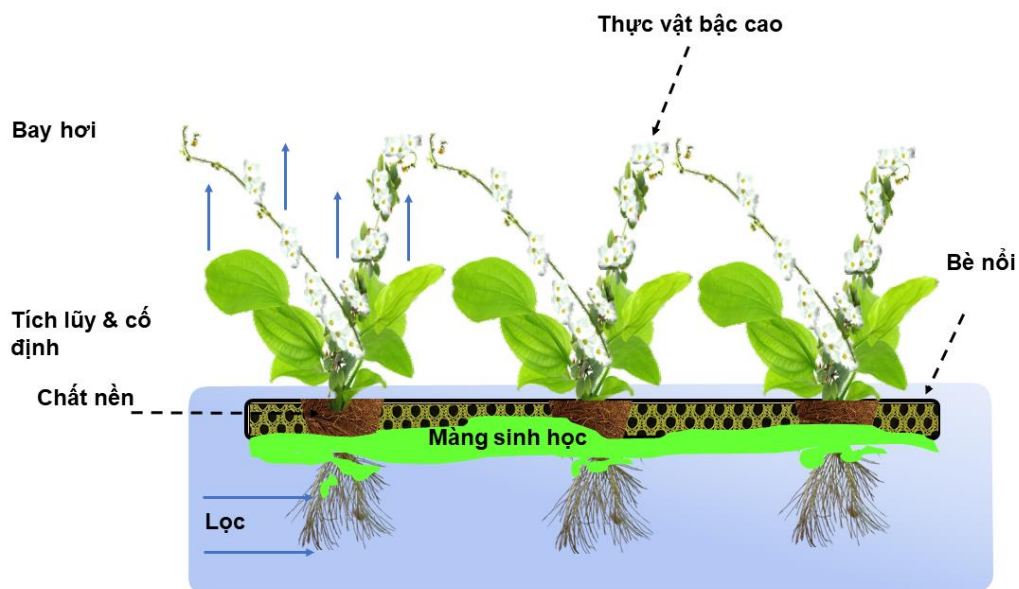
1. Giới thiệu

1.1. Tổng quan đất ngập nước nổi nhân tạo

1.1.1. Khái niệm đất ngập nước nổi nhân tạo

Đất ngập nước nổi nhân tạo (Constructed floating wetlands, CFWs), còn được gọi là “hệ thống bè nổi trồng cây” (planted floating system beds), hoặc “đất ngập nước xử lý nổi” (floating treatment wetlands, FTWs) là công nghệ sinh thái mới áp dụng cho việc xử lý nước. Trong sách hướng dẫn này, chúng tôi sử dụng khái niệm Đất ngập nước nổi nhân tạo (Constructed floating wetlands, CFWs), vì nó được sử dụng phổ biến nhất trong tài liệu tham khảo. CFWs là những cấu trúc nhân tạo cho phép các loài thực vật thủy sinh có thân mọc vượt nổi khỏi mặt nước, sinh trưởng và phát triển trong vùng nước thường là khá sâu so với hệ rễ cây. Rễ của cây lan rộng xuyên qua các bè nổi xuống nước tạo ra những cột rễ dày đặc với diện tích bề mặt rễ rất lớn tạo điều kiện thuận lợi cho hệ vi sinh vật bám dính và phát triển (Hình 1).

Các CFWs là những công nghệ nổi bật về tính hiệu quả, dễ lắp đặt, vận hành và bảo trì. Hệ thống bao gồm thực vật thủy sinh được trồng trên các vật liệu có khả năng nổi giữ cho rễ cây tiếp xúc trực tiếp với nước thải bất kể sự thay đổi của dòng nước theo thời gian, cho phép loại bỏ các chất ô nhiễm bằng nhiều quá trình khác nhau (Hình 1). Hiện nay, các CFWs đã được sử dụng với nhiều thành công khác nhau cho một số ứng dụng, chẳng hạn như cải thiện chất lượng nước, cải thiện môi trường sống và mục đích thẩm mỹ trong các ao hồ (Headley & Tanner, 2008).



Hình 1: Cấu trúc bè nổi thủy sinh và quá trình lọc nước

1.1.2. Các ứng dụng của CFWs

Việc ứng dụng CFWs để xử lý nước thải có lợi thế là chi phí thấp trong việc loại bỏ chất dinh dưỡng, đồng thời giảm chi phí bảo trì và tiêu thụ năng lượng khi so sánh với các hệ thống xử lý nước thải tập trung truyền thống (Oliveira et al., 2021). Cho đến nay, CFWs đã được áp dụng thành công trong việc cải thiện chất lượng nước (nước mưa chảy tràn, nước thải sinh hoạt, nước thải nông nghiệp, ...), cải thiện và cung cấp môi trường sống cho sinh vật hoang dã và mục đích thẩm mỹ tạo cảnh quan trong các ao hồ.

Việc ứng dụng mô hình bể thực vật thủy sinh trong xử lý nước thải sinh hoạt đã được áp dụng khá phổ biến trên thế giới và cũng đang được biết đến ở Việt Nam. Do chi phí đầu tư thấp, dễ lắp đặt, chi phí vận hành và bảo trì thấp nên mô hình bể nổi thủy sinh hứa hẹn là một mô hình mang tính bền vững trong tương lai. Hiện nay, tại các quốc gia đang phát triển, 80% nước thải sinh hoạt từ khu dân cư đều được xả thải trực tiếp (không qua xử lý) xuống nguồn tiếp nhận như sông, hồ, kênh, rạch trong nội ô thành phố dẫn đến tình trạng chất lượng nước mặt của các khu vực nội ô đang trở nên ô nhiễm trầm trọng ([World Water Assessment Programme, 2009](#)). Vì vậy, việc ứng dụng giải pháp xử lý nước thải thân thiện với môi trường và giá thành thấp, đặc biệt là mô hình bể nổi thủy sinh là rất cần thiết trong điều kiện tại các quốc gia đang phát triển. Một ví dụ điển hình cho mô hình ứng dụng thành công CFWs giúp giảm phần lớn chất ô nhiễm hữu cơ và vô cơ với giá thành xử lý rất thấp US\$0,0026/m³ nước thải sinh hoạt và nước thải công nghiệp ở Pakistan được triển khai bởi [Afzal et al. \(2019\)](#). Mô hình bể nổi trồng 5 loài cây hoa kiểng được lắp đặt để xử lý nước và tạo cảnh quan tại kênh Búng Xáng, thành phố Cần Thơ, Việt Nam (Hình 2), được trình bày trong hướng dẫn này, với chi phí vật tư dùng để thiết kế bể là 320.000 đồng/m² (tương đương US\$13,95/m², 1 USD = 22.946 VND (tỷ giá hối đoái trong tháng 04/2022)).



Hình 2: Mô hình ứng dụng CFWs tại kênh Búng Xáng, thành phố Cần Thơ, Việt Nam

1.1.3. Ưu và nhược điểm của việc ứng dụng CFWs

Hệ thống xử lý nước thải mô hình bể nổi thực vật là một hệ sinh thái nhân tạo được mô phỏng hệ thống sinh cảnh nổi tự nhiên. Vào đầu thế kỷ 20, hệ thống này được sử dụng như môi trường sống tự nhiên của chim và nơi sinh sản của cá. Vào những năm 1980, các học giả Cộng hòa Liên bang Đức đã thiết kế bể nổi sinh thái hiện đại và lần đầu tiên sử dụng nó để lọc nước ô nhiễm ([Nakamura & Shimatani, 1997](#)).

Bể nổi thủy sinh CFWs là một công nghệ xử lý nước thải mang tính sinh thái thân thiện với môi trường và bền vững. Về cơ bản, công nghệ này là một ứng dụng của phương pháp thủy canh sử dụng các bể thủy sinh nhân tạo, trên đó, thực vật thủy sinh trưởng và sử dụng các chất dinh dưỡng và chất hữu cơ có trong nước thải để tổng hợp và tạo sinh khối, từ đó, giúp cho môi trường nước được sạch hơn theo cách thân thiện với môi trường ([Sun et al., 2009](#)). Một số ưu và nhược điểm của việc ứng dụng bể nổi thực vật trong xử lý nước thải được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1: Ưu và nhược điểm của mô hình xử lý nước bằng bè thủy sinh

Ưu điểm	Nhược điểm
1. Mang lại sự linh hoạt trong thiết kế: Bè nổi có thể có kích thước phù hợp với hầu hết mọi ao, hồ, cống thoát nước thải sinh hoạt sẵn có. Dễ thiết kế và vận hành. 2. Cung cấp một hệ thống loại bỏ chất ô nhiễm bền vững và đồng thời cung cấp môi trường sống tự nhiên cho các loài động vật (động vật thủy sinh, côn trùng, chim...). 3. Việc xây dựng một bè nổi trên bề mặt ao tạo ra một rào cản chống lại sự xâm nhập của ánh sáng vào bề mặt nước, do đó, hạn chế khả năng phát triển của tảo. 4. Cải thiện tính thẩm mỹ: bè nổi thực vật có thể được sử dụng để tạo cảnh quan đô thị. 5. Thích ứng với chế độ triều: Bè nổi có thể chịu được sự dao động mực nước do thủy triều miễn là chúng được neo ở đáy hoặc được buộc chặt vào bờ. 6. Hiệu quả xử lý cao: Chuyển động của không khí tự nhiên sẽ cho phép bè di chuyển trên mặt nước và chuyển động này sẽ bổ sung oxy vào trong vùng nước để tăng cường hiệu quả xử lý. 7. Tính bền vững: các cây con của các loài thực vật trên bè nổi sẽ phát triển theo thời gian, quá trình này sẽ lặp đi lặp lại liên tục làm cho hệ thống bè nổi xử lý liên tục không bị gián đoạn theo thời gian, đặc biệt ở vùng nhiệt đới.	1. Chiếm diện tích mặt nước lớn (do là quá trình lọc sinh học nên cần diện tích trồng cây nhiều) 2. Một số chất gây ô nhiễm, chẳng hạn như dầu và thuốc trừ cỏ trong nước thải đô thị có thể làm ảnh hưởng đến thực vật và gây hại cho vi sinh vật. 3. Để đạt hiệu quả xử lý tối đa thì cây trồng trên bè nổi cần phải thu hoạch định kỳ để tránh tình trạng thực vật trên bè nổi già đi và chết gây tình trạng tái ô nhiễm. 4. Mực nước sẽ bị giảm đi khi thủy triều thấp, hoặc sự bốc thoát hơi nước cao, hoặc bị hạn do cạn dòng chảy làm bè không được nổi trên mặt nước. 5. Ô nhiễm do mặn (hay xâm nhập mặn vào các thủy vực nước ngọt), phú dưỡng hóa làm thực vật chết.

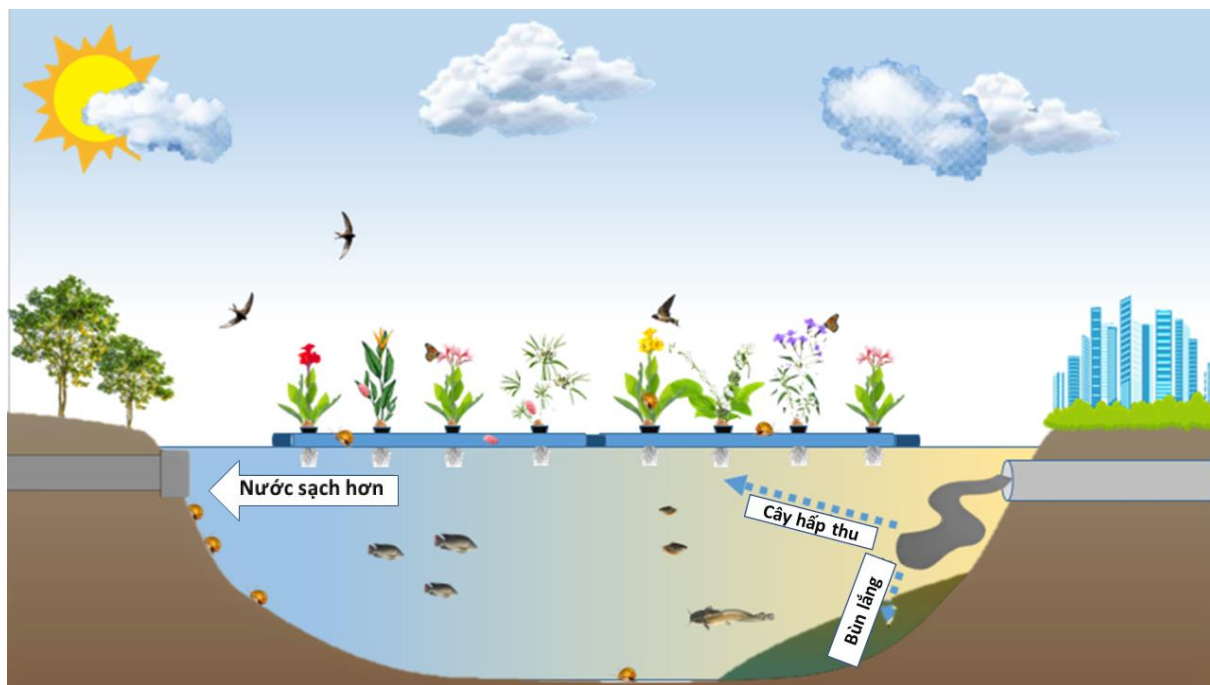
1.2. Nguyên tắc hoạt động

Nguyên tắc hoạt động của CFWs rất đơn giản: thực vật trên bè nổi sẽ sử dụng chất dinh dưỡng có trong nước thải để tạo sinh khối. Các loài thực vật cung cấp oxy qua hệ thống rễ vào môi trường nước thải tạo điều kiện thuận lợi cho các vi sinh vật hiếu khí phát triển thuận lợi, góp phần đạt hiệu quả xử lý tốt hơn. Các quá trình loại bỏ chất ô nhiễm diễn ra trong các hệ thống CFWs là sinh tổng hợp, lắng đọng và chuyển hóa màng sinh học. Quá trình lắng đọng xảy ra nhờ hệ rễ, và quá trình cây hấp thu là quá trình chính để loại bỏ lân (P) trong nước thải (Pavlineri et al., 2017).

- Thực vật hấp thu trực tiếp các chất ô nhiễm, đặc biệt là các chất dinh dưỡng, từ nước, sử dụng một quá trình được gọi là hấp thu sinh học.
- Vi sinh vật phát triển trên bè nổi và bám trên hệ thống rễ cây. Chúng phân hủy và tiêu thụ các chất hữu cơ trong nước.
- Hệ thống rễ cây lọc bỏ trầm tích và các chất ô nhiễm.

Tương tự như công trình đất ngập nước nhân tạo với hệ thực vật, hệ rễ cây bên dưới bè nổi cung cấp một diện tích bề mặt lớn cho sự dính bám và tăng trưởng màng vi sinh vật (Hình 1). Nó tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình chuyển hóa các chất hữu cơ. Các vi sinh vật, phiêu sinh thực vật và thực vật bậc cao (macrophytes) hấp thu và chuyển hóa các chất ô nhiễm vào chuỗi dinh dưỡng. Các chất hữu

cơ ở dạng lơ lửng bám dính vào màng sinh học ở khu vực rễ cây và bị phân hủy, trở thành thức ăn cho các động vật phù du, ấu trùng và cá. Chất rắn lơ lửng dạng phân tán nhỏ bị lắng hay kết tủa. Cây thủy sinh cũng có khả năng tích trữ cacbonic (qua quá trình cây quang hợp), cho phép loại bỏ và chuyển hóa nitrate và amoniac thành nitơ. Các quá trình này ngăn ngừa hoặc làm chậm lại hiện tượng phú dưỡng và giữ cho nguồn nước ở trạng thái cân bằng (Hình 3).



Hình 3: Nguyên tắc hoạt động của CFWs

2. Hướng dẫn lắp đặt

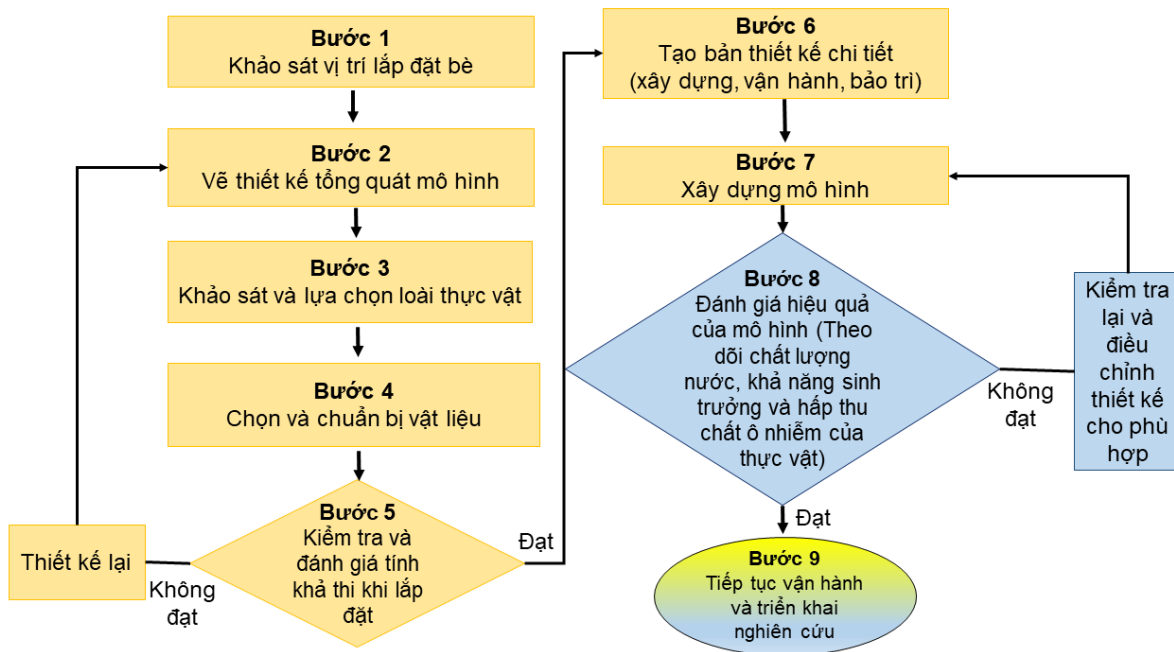
2.1. Khảo sát vị trí thiết kế

2.1.1. Khảo sát vị trí thiết kế các bè nổi

Tùy theo mục đích thiết kế bè tiến hành khảo sát vị trí đặt bè cho phù hợp. Việc ứng dụng bè nổi trồng cây thủy sinh để xử lý nước thải các khu đô thị rất dễ chọn nơi bố trí, có thể là ao, hồ, sông, kênh rạch trong nội ô thành phố, ... Việc khảo sát và chọn vị trí lắp đặt bè thủy sinh là bước rất quan trọng trong quá trình lắp đặt, vì vị trí đặt bè phù hợp sẽ giúp bè thủy sinh hoạt động hiệu quả hơn.

2.1.2. Xin ý kiến địa phương để lắp đặt bè nổi

Tùy theo địa điểm lắp đặt bè thủy sinh, sẽ có tổ chức hay cơ quan cụ thể chịu trách nhiệm trong việc quản lý khu vực ao, hồ, sông/kênh nội ô. Trong khu vực đô thị, có thể là công ty môi trường đô thị, công ty cấp thoát nước, hoặc phòng tài nguyên môi trường, ... sẽ quản lý các kênh thoát nước. Khi thống nhất địa điểm bố trí bè, người thiết kế liên hệ xin phép địa phương cho việc lắp đặt bè được chính thức hóa (Hình 4).



Hình 4: Các bước thiết kế và đánh giá CFWs

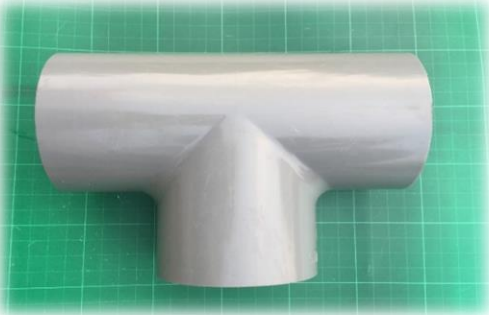
2.2. Chọn loài cây và vị trí lắp đặt bể

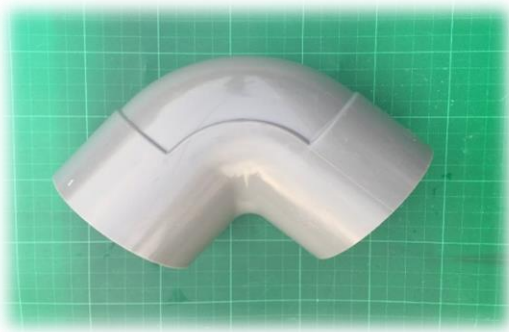
2.2.1. Chọn loài cây

Các loài thực vật thủy sinh bậc cao (aquatic macrophytes) có dạng sống thân mọc vượt đều phù hợp để chọn và trồng trên bể. Tuy nhiên, tùy theo người thiết kế sử dụng bể với mục đích gì thì việc lựa chọn loài cây phù hợp. Ví dụ, để tạo cảnh quan cho khu vực xử lý thì chọn những loài cây có hoa đẹp mắt hay có bộ lá đẹp có màu sắc như cây Thủy trúc (*Cyperus alternifolius*), Chuối hoa (*Canna sp.*), Chiều tím (*Ruellia tuberosa*), Chuối mỏ két (*Heliconia psittacorum*), Bách thủy tiên (*Echinodorus cordifolius*), ... (Bảng 2); nếu chọn cây để thu sinh khối tái sử dụng làm thức ăn gia súc hay ủ compost thì chọn những loài cây thân thảo như cỏ Vetiver (*Vetiveria zizanioides* hay *Chrysopogon zizanioides*), cỏ Đuôi mèo (*Typha sp.*), Sậy (*Phragmites sp.*), ..., hoặc có thể chọn những loài cây có thể thu hoạch bán được, ví dụ như cây Thủy trúc (*Cyperus alternifolius*) (Dell'Osbel et al., 2020). Một số người thiết kế chọn trồng các loài cây rau ăn quả như Bí rợ, Cà tím, Cà chua, ... (Bi et al., 2019).

Bảng 2: Dụng cụ và vật liệu sử dụng thiết kế bè thủy sinh

STT	Dụng cụ và vật liệu	Hình ảnh minh họa
1	Ống nhựa PVC có độ dài là $l = 2$ m, đường kính của ống $d = 90$ mm - Số lượng 07 ống 2 m - Chức năng: làm khung bè nổi	
2	Lưới nhựa mắt cáo kích thước 2 m x 4,5 m, kích cỡ mắt lưới 1-2 cm - Số lượng 01 lưới - Chức năng: giá đỡ cố định rọ trồng cây	
3	Rọ thủy canh: - Số lượng: 72 rọ (36 rọ D57: 65 x 65 x 40 mm; và 36 rọ 70 x 60 x 40 mm) - Chức năng: giúp cố định cây	
4	Keo dán ống nhựa PVC Bình Minh - Số lượng: 1 keo (0,5 kg) - Chức năng: dán cố định các co ống và thanh ống	

5	Dây rút 4T (40 cm) - Số lượng: 2 bịch - Chức năng: cố định lưới vào khung bè	
6	Dây gân PA - Dây gân to 3 mm: + Số lượng: 2 kg + Chức năng: dùng để cột lưới mắt cáo vào ống PVC - Dây gân nhỏ 0,5 mm: + Số lượng: 0,5 kg + Chức năng: dùng để cột rọ vào lưới	
7	Cưa sắt, kiềm, kéo thước dây - Số lượng: mỗi loại 1 cái - Chức năng: Cưa ống, cắt lưới, cắt dây	
8	Ống nối chữ T (ba chạc 90) dùng để nối các ống, kích thước $\Phi 90$ mm - Số lượng: 02 cái - Chức năng: nối các thanh ống lại tạo thành khung bè	

9	Ống nối góc 90, kích thước Φ 90 mm - Số lượng: 04 cái - Chức năng: nối các thanh ống lại tạo thành khung bè	
10	Sơ dừa - Chức năng: dùng làm giá thể để cố định cây vào rọ	
11	Thực vật thủy sinh + Cây thủy trúc (<i>Cyperus alternifolius</i>), chuối hoa (<i>Canna sp.</i>), chiều tím (<i>Ruellia tuberosa</i>), chuối mỏ két (<i>Heliconia psittacorum</i>), bách thủy tiên (<i>Echinodorus cordifolius</i>), ... là những loài cây chọn để thiết kế trong sách hướng dẫn này. + Ngoài ra, tùy theo mục đích của người thiết kế có thể chọn loài cây phù hợp (được trình bày trong mục 2.2.1)	

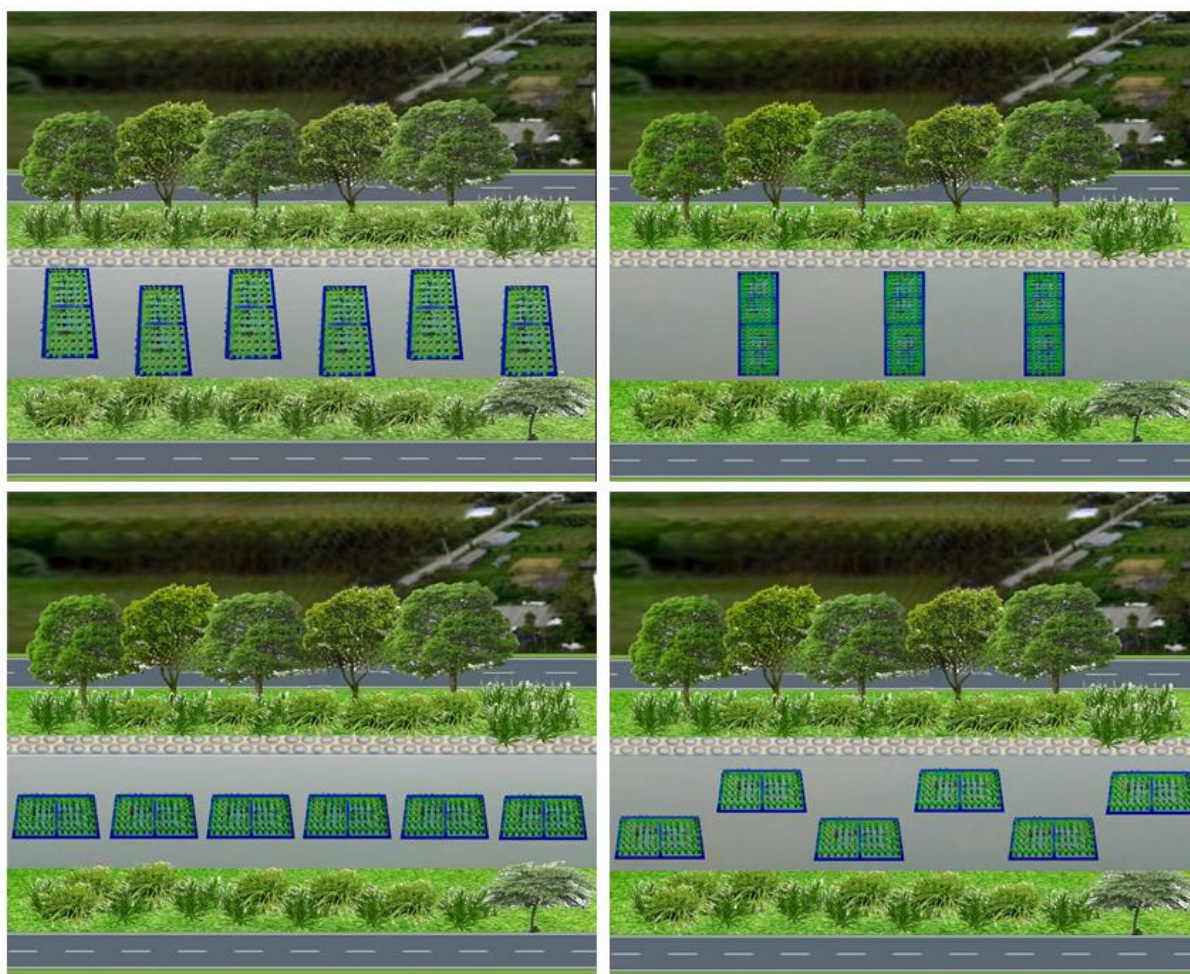
Bên cạnh giá trị cảnh quan cần lưu ý chọn các loài cây có khả năng sinh trưởng tốt trong điều kiện nước thải và có hiệu quả xử lý chất ô nhiễm cao. Cần lưu ý để hạn chế việc đầu tư chi phí cho việc mua cây trồng và tăng tính thích nghi của các loài cây trên hệ thống CFWs, người thiết kế cần lựa chọn những loài cây bản địa, sẵn có tại khu vực bố trí bè ([Bi et al., 2019](#)). Các loài cây (cây Thủy trúc, Chuối hoa, Chiều tím, Chuối mỏ két, Bách thủy tiên) được chọn để thiết kế trong sách hướng dẫn này dựa trên khả năng ứng dụng rất phổ biến, được chọn và trồng trên bè nổi ứng dụng xử lý nhiều loại nước thải, và được đánh giá hiệu quả trong việc tạo sinh khối thân rễ cao, góp phần xử lý hiệu quả ô nhiễm trong nước thải ([Barco & Borin, 2020](#); [Dell'Osbel et al., 2020](#)).

2.2.2. Chọn vị trí lắp đặt và cách bố trí bè nổi

Rất dễ chọn nơi bố trí các CFWs, có thể là ao, hồ, sông, kênh rạch trong nội ô thành phố, ... Tuy nhiên, việc khảo sát và chọn vị trí lắp đặt bè nổi thủy sinh là bước rất quan trọng. Trong quá trình lắp đặt, vị trí lắp đặt phù hợp sẽ giúp CFWs hoạt động hiệu quả hơn. Lựa chọn vị trí lắp đặt bè nổi thủy sinh phù hợp cần thực hiện theo những tiêu chí sau:

- Vị trí lắp đặt đủ rộng (lưu ý không gây cản trở việc lưu thông tàu thuyền nếu tuyến kênh có phục vụ đường thủy).
- Gần nguồn nước thải chảy vào thủy vực (để phát huy hiệu quả xử lý ô nhiễm các loài thực vật trên bè).
- Tránh các vị trí có các cọc cây dưới thủy vực (để bè không bị vướng vào khi triều kém).
- Chọn những nơi có ánh sáng để đảm bảo quá trình quang hợp của các loài thực vật trên bè.
- Nếu thủy vực là dòng sông thì chọn những nơi có dòng chảy yếu để tránh ảnh hưởng đến bè.
- Cần lưu ý đến nồng độ chất ô nhiễm có trong nước thải trước khi đặt bè (vì nếu nồng độ cao sẽ ảnh hưởng đến thực vật trên bè, từ đó, ảnh hưởng đến quá trình xử lý ô nhiễm).
- Cần tránh những nguồn xả thải có hàm lượng thuốc trừ cỏ trong nước thải sẽ ảnh hưởng đến thực vật trên bè.

Một số vị trí và cách đặt bè trong các hồ, ao, kênh nội ô được trình bày trong Hình 5.



Hình 5: Cách đặt bè nổi trong kênh đô thị

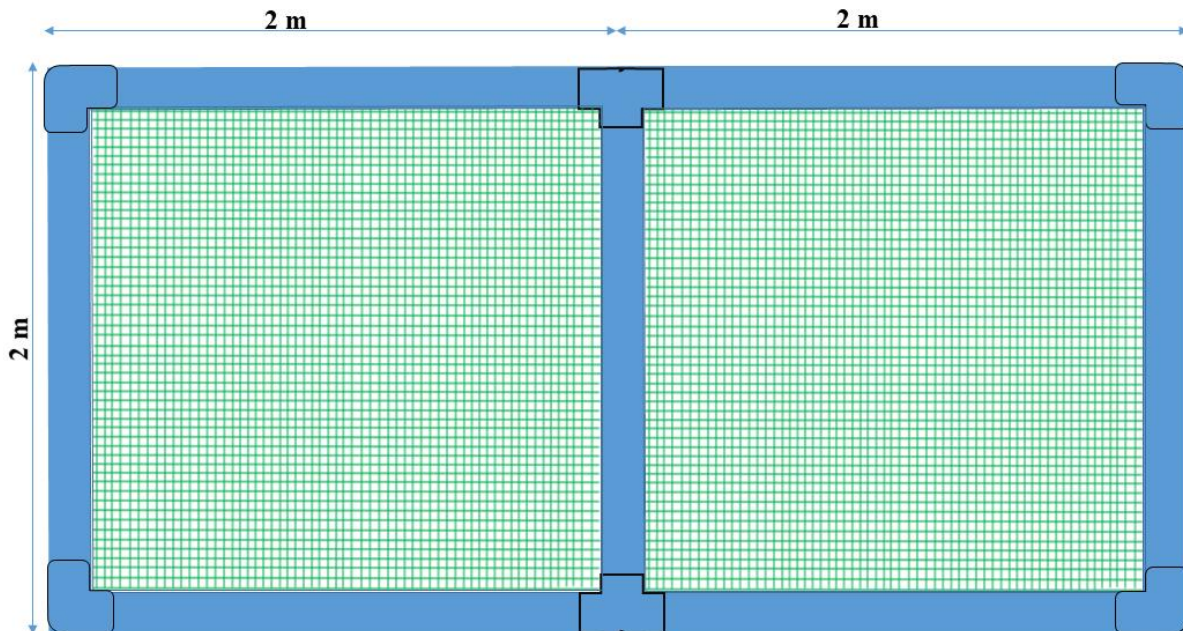
Độ sâu của thủy vực chọn để thả bè nổi thay đổi tùy thuộc vào thủy vực nước thải chọn để xử lý và loài cây thủy sinh được sử dụng. Độ sâu tối thiểu khuyến nghị là 0,8-1,0 m được duy trì để ngăn không cho rễ cây chạm vào bùn đáy. Nếu rễ cây bị chạm vào đáy thủy vực, bè nổi sẽ có nguy cơ bị neo giữ và ngập chìm khi mực nước dâng trở lại. Điều này có thể dẫn đến cây chết và cấu trúc bè bị hư hại (Headley & Tanner, 2008). Đối với thủy vực nước thải giàu dinh dưỡng, độ sâu 0,2 m rễ cũng có thể hoạt động. Tuy nhiên, trong nước thải thiếu chất dinh dưỡng như nước mưa, độ sâu khuyến nghị là 0,8-3,0 m vì rễ cây có khả năng phát triển dài hơn khi thiếu chất dinh dưỡng và có thể phát triển đến lớp trầm tích dưới đáy.

2.3. Hướng dẫn thiết kế

2.3.1. Kích thước và hình dạng bè nổi

Kích thước và hình dạng cũng như số lượng bè nổi không theo một quy cách cứng nhắc nào, tùy theo mục đích sử dụng bè, vị trí thủy vực lắp đặt, kinh phí, vật liệu thiết kế bè sẵn có, ... mà người thiết kế có thể có bản vẽ thiết kế bè phù hợp. Tùy vào độ lớn của thủy vực nước thải (hay diện tích bề mặt nước) mà có thể thiết kế kích thước bè nổi thủy sinh cho phù hợp, tuy nhiên, nên bố trí bè với kích thước vừa phải để dễ lắp đặt bè và công việc bảo trì bè sau này. Kích thước bè khuyến nghị trong hướng dẫn này là chiều dài gấp đôi chiều rộng (Schwammberger et al., 2019), với chiều dài 4 m và chiều rộng là 2 m.

Giữa 2 ống PVC 2 m, nên có một ống nối chữ T (Hình 6). để chia ống PVC ra không quá dài sẽ bị quăn khi cây tăng trưởng và có sinh khối cao.



Hình 6: Kích cỡ của khung bè với dạng hình chữ nhật

Vật liệu làm khung bè nổi: Có nhiều loại vật liệu có thể dùng để thiết kế khung bè nổi trồng cây thủy sinh miễn sao có thể làm cho bè nổi được trên mặt nước và chịu được sức nặng của cây trồng suốt vòng đời cây sinh trưởng phát triển. Các vật liệu làm bè nổi thường được sử dụng như: tre, tấm xốp, chai/bình nhựa, ống nhựa PVC, tấm thảm xơ dừa, ... (Sharma et al., 2021) (Bảng 2; Hình 7). Tuy nhiên, do bè tiếp xúc trực tiếp với nước, do đó, cần chọn lựa các vật liệu không bị phân rã khi thấm

nước. Ngoài ra, điều kiện khí hậu nắng nóng quanh năm như ở Việt Nam, việc chọn lựa vật liệu có tuổi thọ cao dưới tác động của ánh nắng là điều cần quan tâm. Có nhiều sản phẩm thương mại (ví dụ: thảm) sẵn có và có thể nổi; tuy nhiên, ống nhựa PVC hoặc vật liệu nổi tự nhiên (ví dụ: tre) là một giải pháp thay thế đáng tin cậy và rẻ tiền (Pavlineri et al., 2017). Hình dạng khung bè nổi được thiết kế tùy theo người sử dụng, có thể hình chữ nhật, hình vuông, hình oval, hình tròn, hình thoi, hình lục giác, và nhiều hình dạng bất kỳ nhằm tạo đẹp mắt hơn.



Hình 7: Các vật liệu có thể sử dụng làm khung bè nổi

Số lượng bè hay còn gọi là tổng diện tích bè trên diện tích mặt nước theo khuyến cáo là 5% có hiệu quả xử lý dinh dưỡng trong nước tối ưu (Chang et al., 2012). Mật độ cây có tổng diện tích che phủ trên bè ít nhất là 50% (Sharma et al., 2021). Trong hướng dẫn này, diện tích bè che phủ mặt nước cần xử lý là 4,4% và tổng diện tích cây che phủ là 30% khi trồng và trong vòng 1 tháng sau trồng độ che phủ của cây tăng lên 80-90% diện tích bề mặt bè.

2.3.2. Chuẩn bị vật liệu và dụng cụ thiết kế bè

Vật liệu sử dụng làm bè nổi được trình bày trong Bảng 2. Số lượng vật liệu được trình bày trong Bảng 2 dùng để thiết kế mỗi bè có kích thước 4 x 2 m (tương ứng dài x rộng) với tổng diện tích là 8 m².

2.3.3. Chi phí vật liệu thiết kế bè

Vật liệu và chi phí vật liệu sử dụng thiết kế một bè nổi có diện tích 4 x 2 m = 8 m² được trình bày trong Bảng 3. Tổng chi phí vật liệu sử dụng là 320.000 đồng/m² (tương ứng US\$13,95/m², 1 USD = 22.946 VND (tỷ giá hối đoái sử dụng vào tháng 04/2022).

Bảng 3: Vật liệu và chi phí vật liệu sử dụng thiết kế bè thủy sinh (4 x 2 m = 8 m²)

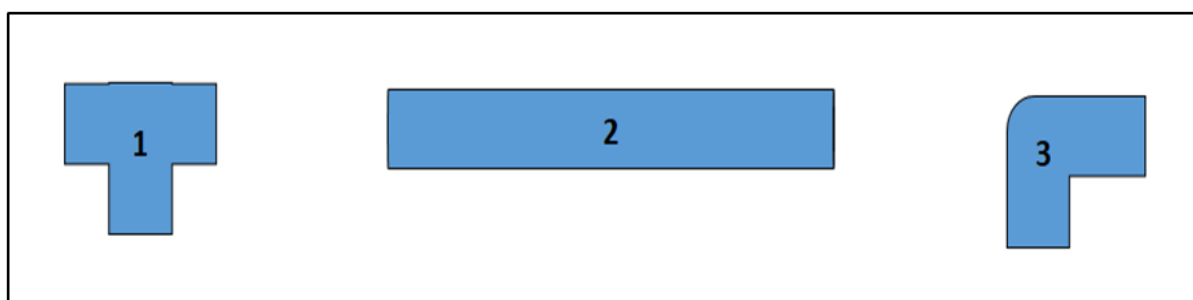
STT	Vật liệu	Đơn vị	Đơn giá	Số lượng	Thành tiền (Đồng)
1	Ống nhựa PVC Ø90	m	60.000	14	840.000
2	Co chữ T	Cái	47.000	2	94.000
3	Co 2 đầu	Cái	30.000	4	120.000
4	Dây rút 4T	Bịch	45.000	2	90.000
5	Lưới nhựa mắt cáo khổ 2 m	m	155.000	4	620.000
6	Dây gân lớn (3 mm)	kg	130.000	2	260.000
7	Dây gân nhỏ (0,5 mm)	kg	110.000	0,5	55.000
8	Keo dán	0,5 kg	150.000	1	150.000
9	Cửa	Cái	40.000	1	40.000
10	Rọ thủy canh nhỏ D57 (6,5 x 6,5 x 4 cm)	Cái	3.000	36	108.000
11	Rọ thủy canh lớn (7,0 x 6,0 x 4 cm)	Cái	3.500	36	126.000
12	Kềm cắt	Cái	55.000	1	55.000
Tổng cộng					2.558.000

Ghi chú: 1 đô la Mỹ USD = 22.946 đồng (tỷ giá hối đoái được áp dụng vào tháng 04/2022)

2.3.4. Các bước thiết kế khung bè

2.3.4.1. Đánh số các ống nối và thanh ống PVC

Trước khi lắp bè, dùng bút lông đánh số các ống nối và các thanh ống PVC. Trong thiết kế bè này sử dụng 2 dạng ống nối: ống nối chữ T (ba chạc 90) và ống nối chữ I (ống nối góc 90) (Bảng 2; Hình 8). Ống nối chữ T được đánh số 1, ống nối góc 90 được đánh số 3, và thanh ống được đánh số 2 (Hình 8). Mỗi thanh ống số 2 có chiều dài 2 m.



Hình 8: Đánh số các ống nối và thanh ống PVC

2.3.4.2. Đặt ống xuống nền và kiểm tra kích thước

Chọn nơi khô ráo, có nền bằng phẳng. Trước khi tiến hành thì cần loại bỏ các vật thể nhọn, cứng dưới nền như đá, sỏi, gỗ, ... để hạn chế thấp nhất rủi ro có thể xảy ra cho ống nhựa có khả năng làm hỏng ống. Sau đó tiến hành tuân tự các bước như sau:

- Đặt ống nhựa PVC lên nền cho bằng phẳng
- Kiểm tra lại chiều dài ống
- Cắt (dùng cây dừa mài) cho các đầu ống nhẵn

- Nếu trời có nắng thì nên phơi ống dưới nắng để dễ thực hiện thao tác dán ống, do khi ống hấp thụ nhiệt thì ống trở nên mềm hơn (lưu ý: cần đeo găng tay khi ống có nhiệt độ cao, tránh bỏng tay).

2.3.4.3. Dán các ống nối và thanh ống lại tạo thành khung bè

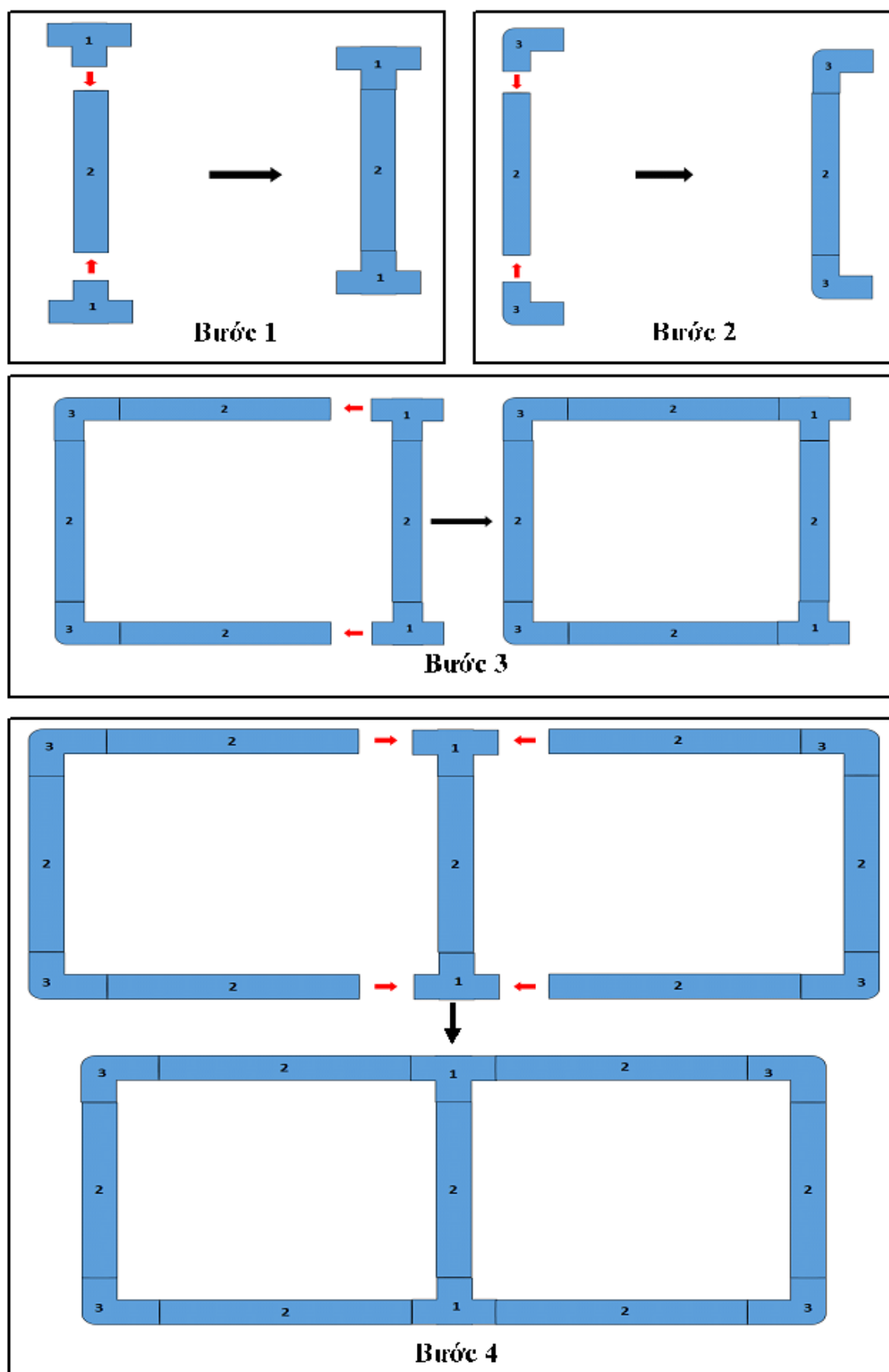
Bước 1: Dán cố định hai ống nối chữ T được đánh số 1 vào ống trung tâm của bè (thanh ống được số 2) được sản phẩm 1 (Hình 9). Do ống trung tâm là ống ảnh hưởng đến độ bằng phẳng của chiếc bè nên bước này rất quan trọng. Sau khi dán xong phải đặt xuống nền phẳng để kiểm tra xem hai đầu nối có đều hay không, nếu chưa đều thì chỉnh lại ngay vì lúc này keo chưa dính chặt, nếu đều rồi thì tiến hành các bước tiếp theo.

Bước 2: Dán 2 ống nối góc 90 được đánh số 3 và thanh ống được đánh số 2, được sản phẩm 2 (Hình 9). Một bè cần hai sản phẩm 2 này.

Bước 3: Tiếp theo dán 2 thanh ống số 2 vào 2 đầu còn lại ống nối góc 90 của sản phẩm 2 ta được sản phẩm 3 (Hình 9).

Bước 4: Nối 2 sản phẩm 3 vào sản phẩm 1, được sản phẩm 4 là một khung bè hoàn chỉnh 8 m² (Hình 9).

Sau khi dán các vị trí cuối cùng thì đặt bè lên nền bằng phẳng để chỉnh sửa ngay ngắn bè lần cuối trước khi keo khô. Sau khi kiểm tra xong thì đợi khoảng 2 tiếng để keo khô, lúc này cần đem bè vào nơi có bóng mát để keo nhanh khô và lưu ý cần để bè lên nền phẳng.



Hình 9: Các bước thiết kế khung bề nổi

2.3.4.4. Cố định tấm lưới vào khung bè

Sau khi keo khô thì tiến hành cố định tấm lưới vào khung bè bằng dây rút hoặc dây gân nhựa. Kích thước tấm lưới cần dài hơn mép khung bè khoảng 20 cm để khi cố định tấm lưới được quấn bo theo vòng ống nhựa làm tăng sức căng bề mặt của tấm lưới, từ đó, cây khi trồng trên lưới sẽ vững hơn.

Lưới được lựa chọn để cố định vào khung bè là lưới nhựa mắt cáo (Bảng 2; Hình 10) được làm từ nhựa PE hoặc HDPE, mắt lưới có hình thoi, kích thước mắt lưới từ 1-2 cm. Hai loại nhựa này có những đặc tính giúp lưới vừa dẻo dai, vừa chịu lực tốt. Độ cứng ở mức độ phù hợp, bền chắc theo thời gian.



Hình 10: Quy trình cố định lưới vào khung bè

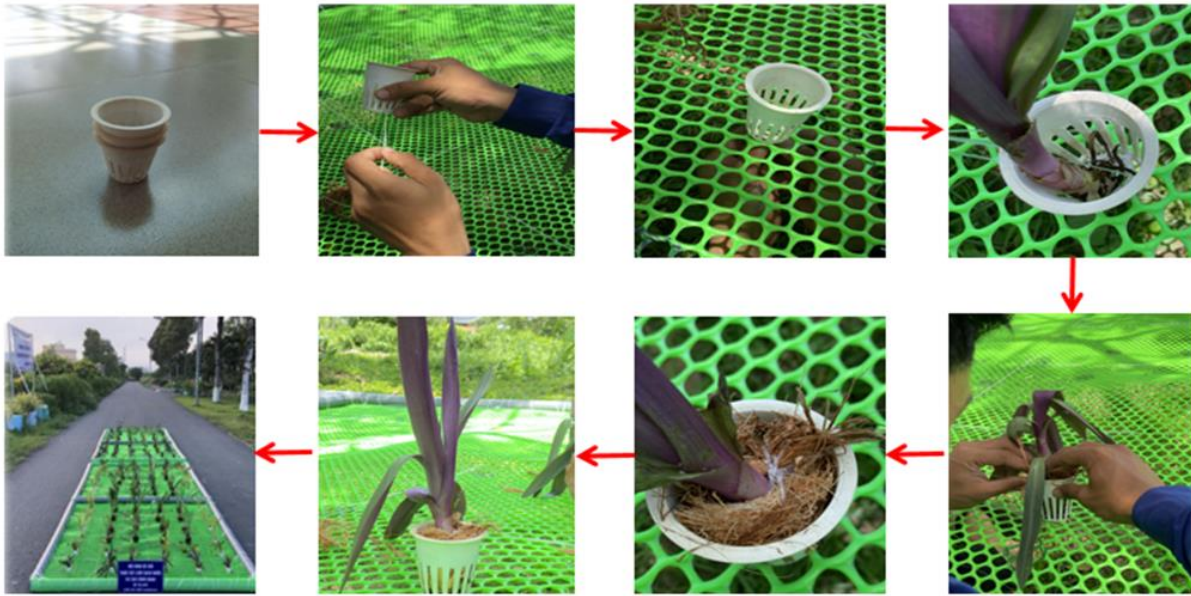
2.3.4.5. Cố định rọ vào lưới và cố định cây vào rọ

Cây được trồng cố định trong các rọ thủy canh chuyên dụng, nên chọn các rọ được làm từ chất liệu PVC - nhựa tổng hợp với khả năng chịu nhiệt cao, không lo bị hư hỏng dưới tiết trời nắng gắt và ngập nước. Rọ được cố định lên bè bằng dây gân nhỏ 0,5 mm (Bảng 2), dùng dây gân cột chữ thập vào đáy rọ và để lại 4 cọng dây dư ra khoảng 20 cm, sau đó, dùng 4 sợi dây này cố định cây vào rọ. Khoảng cách giữa các rọ là 30 cm hay cây cách cây là 30 cm (Hình 11) tạo nên mật độ cây trồng là 9 cây/m² (Huth et al., 2021; Schwammberger et al., 2019).

Nên chọn những loài cây dễ tìm thấy xung quanh khu vực xử lý để trồng trên các bè nổi CFWs. Ngoài ra, để hiệu quả xử lý nước được tốt hơn thì nên chọn những loài cây có tốc độ sinh trưởng tạo sinh khối nhanh và nhiều (được đề cập trong mục 2.2.1).

Sau khi buộc các rọ vào lưới nhựa thì tiến hành kiểm tra lại các rọ nhựa, phải đảm bảo rằng các rọ nhựa được buộc chắc chắn vào tấm lưới, vì khi buộc không chắc chắn, các cây sẽ bị đổ ngã và có thể chết.

Tiếp theo, lấy xơ dừa quấn xung quanh rễ của cây con. Việc sử dụng xơ dừa có tác dụng giữ cho cây con được cố định trong rọ một cách chắc chắn, ngoài ra, còn có tác dụng giữ ẩm cho rễ cây. Cần lưu ý không nên buộc xơ dừa quá xiết chặt làm rễ cây không thể phát triển toàn diện.



Hình 11: Quy trình cố định rọ vào lưới và cố định cây vào rọ

Bước cuối cùng là dùng phần dư của dây gân buộc rọ nhựa để cố định cây vào rọ, lưu ý tránh buộc vào thân cây quá chặt làm ảnh hưởng đến sinh trưởng của cây. Bè cây đã hoàn chỉnh như trình bày trong Hình 11.

2.4. Thả bè và cố định bè

Sau khi đã hoàn tất công đoạn cố định rọ cây vào lưới và bè được thiết kế hoàn chỉnh (Hình 11), bè được thả xuống thủy vực nơi cần xử lý nước thải (Hình 12), lưu ý đặt bè gần vị trí điểm nước thải đầu vào của thủy vực để làm tăng vai trò hấp thu chất ô nhiễm của cây trên bè. Chọn vị trí trong thủy vực nơi trống trải, tránh cây cối che bóng và các cọc dưới nước để thả bè. Nên đợi thời điểm triều cao nhất trong ngày để quá trình thả bè được thuận lợi, dễ thao tác và tránh làm ảnh hưởng đến cây con (Hình 12). Nếu nơi thả bè có rác trôi nổi trên thủy vực cần dọn dẹp rác trước khi thả để tránh rác vướng vào bè gây khó khăn trong các công tác bảo trì sau này.



Hình 12: Thả và cố định bè

Cách đặt bè nổi trên thủy vực cần xử lý cũng quyết định đến hiệu quả xử lý của bè nổi. Theo khuyến cáo nên bố trí đặt bè sao cho dòng nước di chuyển vuông góc với bè và không tạo khoảng trống để dòng nước chảy song song với bè (Lucke et al., 2019). Ngoài ra, như đã trình bày ở trên, tùy theo chức năng và vai trò của thủy vực, nếu như không hạn chế việc di chuyển đường thủy thì nên đặt bè vuông góc với bề ngang của kênh (Hình 5), tức càng làm tăng sự tiếp xúc của hướng nước, kéo dài đoạn đường đi và sự len lỏi của dòng nước sẽ làm tăng hiệu quả xử lý nước của bè.

Công đoạn tiếp theo là buộc dây vào hai đầu của bè và cố định bè trên bờ bằng các cọc cừ tràm để hạn chế bè bị trôi đi theo dòng nước. Có thể cột đầu dây cố định bè trên các cây gỗ trồng dọc trên bờ. Đối với các thủy vực bị ảnh hưởng theo triều, cần lưu ý khi cột cố định bè, cần chừa đoạn dây với độ dài chừa theo mức nước của triều kiệt, và nước ròng, để tránh trường hợp nước cạn bè bị treo, cây bị mất nước. Ngoài ra, công tác kiểm tra, bảo trì bè và thu sinh khối hay dọn dẹp vệ sinh trên bè nếu muốn thực hiện trên bờ thì chỉ cần đợi triều lên và kéo bè vào bờ một cách dễ dàng (Hình 13). Trường hợp ao hồ hay kênh khá rộng, có thể đầu tư thêm chiếc ghe nhỏ hay chiếc bè để thu hoạch sinh khối cây.



Hình 13: Bảo trì cây trên bè

3. Hướng dẫn vận hành và bảo trì

3.1. Vận hành

Đối với bè nổi thủy sinh, việc vận hành rất đơn giản, chỉ cần thả bè xuống thủy vực cần xử lý, bè tự hoạt động theo cơ chế lọc nước như đã trình bày ở phần 1. Cây con sử dụng chất dinh dưỡng trong nước thải để sinh trưởng và phát triển, đến khi cây trồng ra hoa hoặc có dấu hiệu già đi (tùy theo loài cây sẽ có thời gian thu hoạch khác nhau). Tuy nhiên, để tăng hiệu quả hấp thu chất dinh dưỡng của cây, thì sau khoảng 2 tháng tiến hành kéo bè lên cắt tỉa và thu bớt sinh khối cây (chỉ thu những nhánh, cành cây già, thân có hoa). Chừa lại khoảng 2-3 cây con/cụm (Hình 14) để cây tái sinh trở lại mà không cần thay cây mới (do bản chất các loài cây thủy sinh có khả năng tự tái sinh rất tốt), chỉ thay cây mới đối với trường hợp cây chết hoặc không phát triển tốt.



Hình 14: Tỉa cây trên bè định kỳ 2 tháng 1 lần

3.2. Bảo trì và quản lý

3.2.1. Chăm sóc và tỉa cây

Để thực vật thủy sinh trên bè phát triển tốt và tạo cảnh quan đẹp thì cây trồng cần phải được chăm sóc thường xuyên và cắt tỉa định kỳ. Mỗi tháng, tiến hành cắt dọn cỏ dại trên rọ để cây được phát triển một cách tối ưu nhất. Đối với các cây chết thì thay cây mới. Để cắt tỉa cây, dọn cỏ trên bè thì có thể kéo bè lên hoặc chèo xuống ra để cắt tỉa (Hình 13). Khi kéo bè lên phải thật cẩn thận tránh làm tổn thương hệ rễ.

Tùy theo mỗi loài cây sẽ có thời gian sinh trưởng khác nhau, do đó, nên chọn phối hợp trồng các loài cây trên cùng một bè có cùng khoảng thời gian sinh trưởng. Cây cần được cắt tỉa bớt cành/nhánh già, cây ra hoa, để tạo khoảng không và kích thích các cây con sinh trưởng. Đối với cây Thủy trúc, cây Chuối hoa, Chuối pháo, ... có thể tỉa bớt sinh khối cây mỗi 2 tháng 1 lần (Hình 14).

3.2.2. Sử dụng sinh khối cây

- Cây sau khi thu sinh khối có thể dùng để ủ khí sinh học hay ủ phân compost.
- Các loài hoa kiểng như Chuối mỏ két, Chuối hoa có thể cắt hoa để bán.
- Bách thủy tiên có thể dùng nhánh cây con từ các đọt hoa tách ra thành cây con để bán kiểng, phần sinh khối còn lại có thể ủ khí sinh học.
- Thủy trúc có thể cắt phơi khô làm dây buộc hoặc có thể bán nhánh tươi ở tiệm hoa.

3.2.3 Các sự cố thường gặp

- Đối với các thủy vực có nhiều rác thải thì việc rác thải trôi dạt tấp vào bè là thường xuyên, vì vậy, cần phải theo dõi bè thường xuyên và cần dọn dẹp rác trên bè nếu không sẽ ảnh hưởng các loài thực vật và làm cây chết, nghiêm trọng hơn có thể làm nghiêng bè hoặc chìm bè.
- Bè được đặt trong thủy vực nên phụ thuộc vào chế độ triều, cần phải kiểm tra dây cố định thường xuyên vì bè có thể mắc vào bờ khi triều xuống và chết cây khi không có nước (Bảng 4; Hình 15).

Bảng 4: Một số sự cố thường xuyên xảy ra, nguyên nhân và biện pháp khắc phục

Sự cố	Nguyên nhân	Biện pháp khắc phục
Rò rỉ nước tại các ống nổi (nghiêng bề hoặc chìm bề)	Dán kéo không chắc chắn, hoặc do thao tác kéo bề lên bờ thu cây vì trọng lượng cây quá nặng làm rạn nứt các chỗ nối	Kéo bề lên, tháo ống ra và phải tiến hành lắp đặt lại, hoặc gắn thêm phao nổi để nâng bề lên
Bề bị treo trên bờ khi nước cạn	Dây cột ngắn hơn mức nước ròng trong thủy vực	Theo dõi bề thường xuyên và kiểm tra dây cột cố định bề



Hình 15: Các sự cố thường gặp

Lời cảm ơn (Acknowledgements)

Special thanks to: all students who supported in installation of the constructed floating wetlands (CFWs) in Bung Xang canal, Can Tho city, without their support the CFWs could not be done. The Department of Environmental Sciences, the College of Environmental and Natural Resources, Can Tho University, who supported in administration and laboratory facility. This project was made possible with funding from the project CRRP2021-06MY-Jegatheesan, funded by the Asia-Pacific Network for Global Change Research (APN-GCR).

Đặc biệt cảm ơn: tất cả các sinh viên đã hỗ trợ lắp đặt các bề nổi nhân tạo (CFWs) tại kênh Búng Xáng, thành phố Cần Thơ, nếu không có sự hỗ trợ của họ thì các CFWs không thể thực hiện được. Bộ môn Khoa học Môi trường, Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ, đơn vị hỗ trợ về quản lý và cơ sở thí nghiệm. Dự án này được thực hiện với sự tài trợ từ dự án CRRP2021-06MY-Jegatheesan, được tài trợ bởi Mạng lưới Châu Á-Thái Bình Dương cho Nghiên cứu Thay đổi Toàn cầu (APN-GCR).

Tài liệu tham khảo (References)

- Afzal, M., Arslan, M., Müller, J. A., Shabir, G., Islam, E., Tahseen, R., Anwar-ul-Haq, M., Hashmat, A. J., Iqbal, S., & Khan, Q. M. (2019, 2019/09/01). Floating treatment wetlands as a suitable option for large-scale wastewater treatment. *Nature Sustainability*, 2(9), 863-871. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0350-y>
- Barco, A., & Borin, M. (2020). Ornamental plants for floating treatment wetlands: Preliminary results. *Italian Journal of Agronomy*, 15(1602), 109-120. <https://doi.org/10.4081/ija.2020.1602>
- Bi, R., Zhou, C., Jia, Y., Wang, S., Li, P., Reichwaldt, E. S., & Liu, W. (2019, 2019/05/15/). Giving waterbodies the treatment they need: A critical review of the application of constructed floating wetlands. *Journal of Environmental Management*, 238, 484-498. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.064>
- Chang, N. B., Islam, M. K., & Wanielista, M. P. (2012, 2012/07/01). Floating wetland mesocosm assessment of nutrient removal to reduce ecotoxicity in stormwater ponds. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 9(3), 453-462. <https://doi.org/10.1007/s13762-012-0061-7>
- Dell'Osbel, N., Colares, G. S., Oliveira, G. A., Rodrigues, L. R., da Silva, F. P., Rodriguez, A. L., López, D. A. R., Lutterbeck, C. A., Silveira, E. O., Kist, L. T., & Machado, Ê. L. (2020, 2020/12/01/). Hybrid constructed wetlands for the treatment of urban wastewaters: Increased nutrient removal and landscape potential. *Ecological Engineering*, 158, 106072. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106072>
- Headley, T., & Tanner, C. (2008, 01/01). Floating Treatment Wetlands: An Innovative Option for Stormwater Quality Applications. *11th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*, 1101-1106.
- Huth, I., Walker, C., Kulkarni, R., & Lucke, T. (2021). Using constructed floating wetlands to remove nutrients from a waste stabilization pond. *Water*, 13, 1746. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w13131746>
- Lucke, T., Walker, C., & Beecham, S. (2019, 2019/04/10/). Experimental designs of field-based constructed floating wetland studies: A review. *Science of The Total Environment*, 660, 199-208. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.018>
- Nakamura, K., & Shimatani, Y. (1997). *Water purification and environmental enhancement by artificial floating island* 6th IAWQ Asia-Pacific Regional Conference (pp. 888-895), IAWQ Seoul, Korea.
- Oliveira, G. A., Colares, G. S., Lutterbeck, C. A., Dell'Osbel, N., Machado, Ê. L., & Rodrigues, L. R. (2021, 2021/06/15/). Floating treatment wetlands in domestic wastewater treatment as a decentralized sanitation alternative. *Science of The Total Environment*, 773, 145609. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145609>
- Pavlineri, N., Skoulidakis, N., & Tsihrintzis, V. A. (2017). Constructed Floating Wetlands: A review of research, design, operation and management aspects, and data meta-analysis. *Chemical Engineering Journal*, 308, 1120-1132.
- Schwammburger, P. F., Lucke, T., Walker, C., & Trueman, S. J. (2019, 2019/08/10/). Nutrient uptake by constructed floating wetland plants during the construction phase of an urban residential development. *Science of The Total Environment*, 677, 390-403. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.341>
- Sharma, R., Vymazal, J., & Malaviya, P. (2021, 2021/07/10/). Application of floating treatment wetlands for stormwater runoff: A critical review of the recent developments with emphasis on heavy metals and nutrient removal. *Science of The Total Environment*, 777, 146044. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146044>
- Sun, L., Liu, Y., & Jin, H. (2009, 2009/01/08/). Nitrogen removal from polluted river by enhanced floating bed grown canna. *Ecological Engineering*, 35(1), 135-140. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.09.016>

World Water Assessment Programme. (2009). *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*. UNESCO. UNESCO and London: Earthscan, Paris. Retrieved from [http://refhub.elsevier.com/S0301-4797\(19\)30215-4/sref163](http://refhub.elsevier.com/S0301-4797(19)30215-4/sref163).