

XÁC ĐỊNH LƯU TỐC CỦA DÒNG CHẢY NƯỚC THẢI QUA VÙNG RỄ KHU ĐẤT NGẬP NƯỚC KIẾN TẠO CHẢY NGẦM BẰNG PHƯƠNG PHÁP LƯU VẾT

Lê Anh Tuấn¹, Johan Dure² và Guido Wyseure²

ABSTRACT

Four tracer experiments were conducted with the using kitchen salt (Sodium Chloride, NaCl) as tracer for determining the peak travel flow speed of domestic wastewater transported through a root zone in a constructed subsurface flow wetland. The flow was homogeneous through the cross-section of the constructed wetland system built at Can Tho University. The theoretical hydraulic retention time of water in the reed bed is 18 days based on the calculation as the ratio between the pore volume of the wetland, the porosity of porous media and the flow rate through its system. The average peak travel flow speed, determining as the length of reed bed divided by the nominal hydraulic retention time, is estimated to be 0.67 m/day. The results also proved that tracer with kitchen salt as a cheap and suitable tracer to determine the peak velocities in a constructed subsurface flow wetland. This could be considered as a creative on constructed wetland research in the developing countries as Vietnam.

Keywords: *constructed wetland, velocity, root zone, tracer method*

Title: *Determining the peak velocities of wastewater transported through a root zone in a constructed subsurface flow wetland by tracer method*

TÓM TẮT

Bốn thí nghiệm chất lưu vết là muối ăn (Sodium Chloride, NaCl) đã được tiến hành nhằm xác định lưu tốc dòng chảy lớn nhất của nước thải sinh hoạt đi qua vùng rễ của khu đất ngập nước kiến tạo chảy ngầm. Dòng chảy là đồng nhất qua mặt cắt ngang của hệ thống đất ngập nước kiến tạo đã được xây dựng tại Đại học Cần Thơ. Thời gian tồn lưu chuẩn (hoặc lý thuyết) qua tầng rễ là 18 ngày dựa theo tính toán tỉ số giữa thể tích rỗng của khu đất ngập nước, độ rỗng của môi trường xốp và lưu lượng đi qua hệ thống. Lưu tốc trung bình lớn nhất của dòng chảy được xác định là 0,67 m/ngày. Kết quả cũng đã chứng minh việc dùng muối ăn làm chất lưu vết là một biện pháp rẻ tiền và bền vững để xác định lưu tốc trong một khu đất ngập nước kiến tạo chảy ngầm. Điều này có thể xem như một sáng tạo trong nghiên cứu đất ngập nước kiến tạo trong các nước đang phát triển như Việt Nam.

Từ khóa: *đất ngập nước kiến tạo, lưu tốc, vùng rễ, phương pháp lưu vết*

1 ĐẶT VẤN ĐỀ

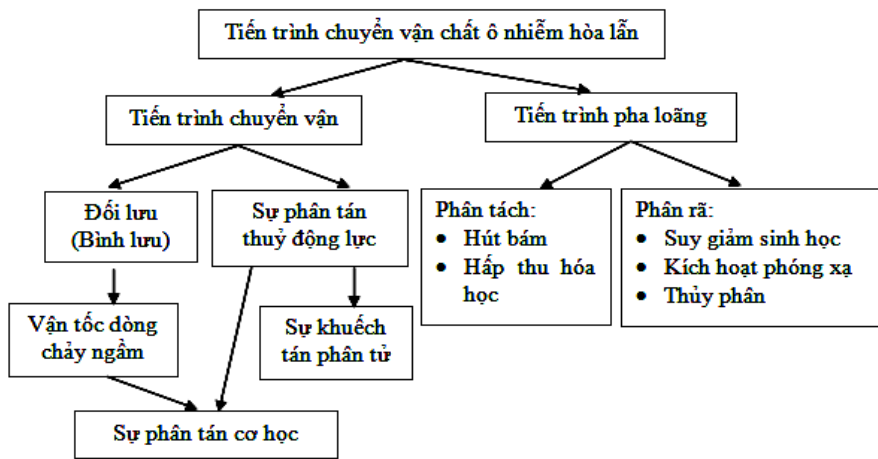
Đất ngập nước kiến tạo (Constructed wetland) được định nghĩa là một hệ thống công trình xử lý nước thải được kiến thiết và tạo dựng mô phỏng có điều chỉnh theo tính chất của đất ngập nước tự nhiên với cây trồng chọn lọc (Tuấn *et al.*, 2009). Đất ngập nước kiến tạo có thể thiết kế theo kiểu chảy ngầm hoặc chảy mặt. Đất ngập nước chảy ngầm có giá thành xây dựng cao hơn kiểu chảy mặt nhưng

¹ Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

² Khoa Khoa học Sinh học Ứng dụng, Trường Đại học Thiên chúa giáo Leuven, Bỉ

hiệu quả xử lý chất ô nhiễm tốt hơn, giảm thiểu được các tác động xấu khác như sự phát tán mùi hôi vào không khí và hạn chế sự sinh sản của muỗi, côn trùng có thể gây hại cho sức khỏe con người (Davis, 1995).

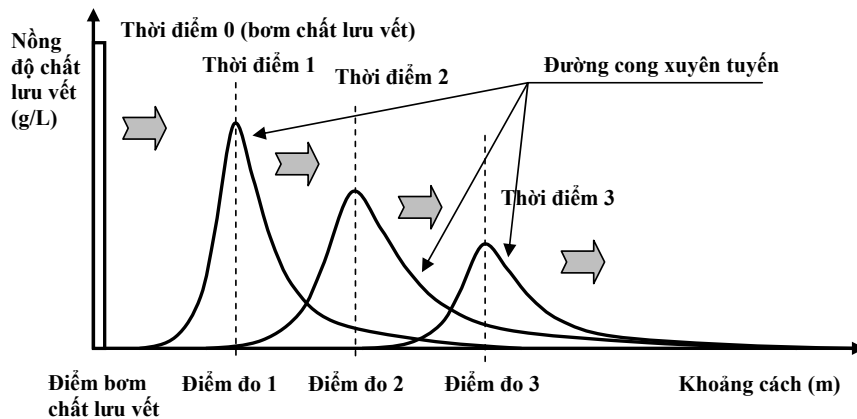
Một trong các vấn đề được các nhà thủy học môi trường quan tâm là xác định các đặc điểm thủy lực bên trong một khu đất ngập nước kiến tạo chảy ngầm như thời gian tồn lưu thủy lực, lưu tốc dòng chảy trong đất và hệ số khuếch tán chất ô nhiễm (Mark, 2001; Jan and Harry, 2002, Florent *et al.*, 2003; Albuquerque and Bandejas, 2007; Sherman *et al.*, 2009). Độ dẫn thủy lực bão hòa của một loại đất được cho là một điểm số có ý nghĩa quan trọng trên đường cong độ dẫn thủy lực đối với thành phần nước trong đất. Lý thuyết về dòng chảy dưới đất thường được bắt đầu bằng định luật Darcy khi dòng chảy là chảy tầng. Định luật Darcy thuần túy là một nguyên lý mang tính toán học đơn giản cho sự quan hệ giữa lưu lượng dòng chảy tức thời ngang qua một môi trường xốp, độ nhớt của chất lưu và áp suất rơi giữa hai mặt cắt chọn sẵn nào đó. Cơ chế chính điều hành sự chuyển vận trong môi trường xốp chính là sự đối lưu (hoặc bình lưu), khuếch tán và phân tán cơ học (Cherry and Freeze, 1979). Ngoài ra, tiến trình phân tách và tiến trình phân rã cũng ảnh hưởng đến cơ chế chuyển vận. Tiến trình chuyển vận chất ô nhiễm hòa lẫn có thể phân biệt một cách chi tiết như hình 1 (Tuấn *et al.*, 2009).



Hình 1: Sơ đồ phân biệt chi tiết các tiến trình vận chuyển chất ô nhiễm trong đất

Thực tế trong hầu hết trường hợp, độ dẫn thủy lực trong các tầng đất được quyết định bởi ảnh hưởng của cả cấu trúc của dòng chảy ngầm và lưu tốc của nó khi đi qua khu đất ngập nước. Các tầng đất nằm ngang với kích thước hạt rất nhỏ (cát rất mịn, sét, bùn) bị nén chặt hoặc kết cứng hoặc dạng than bùn ngập nước thì sẽ có tác dụng như một lớp chắn lên dòng nước do độ dẫn thủy lực cực nhỏ. Ngược lại các tầng đất có kết cấu hạt lớn (cát trung, cát thô, sỏi, đá dăm) sẽ cho khả năng tạo dòng chảy lớn hơn do độ dẫn thủy lực cao (Tuấn *et al.*, 2009). Xác định lưu tốc dòng chảy trong môi trường đất thường là công việc khó khăn hơn nhiều so với việc đo đạc dòng chảy trong môi trường nước do tính chất không đồng nhất của đất đá và có sự hiện diện của lớp rễ thực vật. Độ dẫn thủy lực có thể xác định bằng cách dùng các phương pháp như phương pháp lỗ khoan (*auger-hole method*),

phương pháp áp kế (*piezometer method*) hoặc thử nghiệm thấm tầng nước (*slug test*). Hầu hết các đo đạc độ dẫn thủy lực trong đất đều khá đắt tiền và khó khăn đặc biệt là dòng chảy là nước thải chứa nhiều thành phần chất ô nhiễm từ sinh hoạt và sản xuất. Nhiều nhà khoa học tìm cách đo trực tiếp lưu tốc dòng chảy dưới đất bằng phương pháp dùng chất lưu vết (*tracers*). Chất lưu dẫn thường được chọn là các hóa chất độc hại như muối Bromide, chất nhuộm màu Rhodamine WT, Rhodamine B (Florent *et al.*, 2003, Lin *et al.*, 2003; Sherman *et al.*, 2009) hoặc chất kích hoạt phóng xạ (*radioactive*) như Tritium, thậm chí chất lưu dẫn là vết vi khuẩn (Everardo *et al.*, 2003). Bằng cách lấy mẫu, đo nồng độ chất lưu vết dọc theo chiều dòng chảy và vẽ các đường cong xuyên tuyến (*Breakthrough curves - BTCs*) trên trục tọa độ, ta có thể định được lưu tốc chuyển vận chất lưu vết bằng tỷ số giữa khoảng cách giữa 2 đỉnh các đường BTCs và thời gian vận chuyển, hoặc khoảng cách từ thời điểm lúc bơm chất lưu vết đến đỉnh các đường BTCs, được minh họa như hình 2.

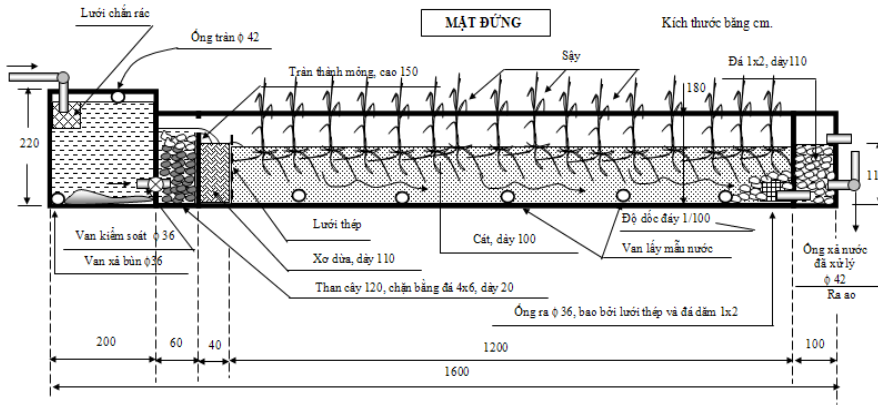


Hình 2: Nguyên tắc định lưu tốc bằng chất lưu vết qua đường cong xuyên tuyến

Tuy nhiên, việc sử dụng hóa chất như chất nhuộm màu, chất phóng xạ, vi khuẩn thường tốn kém và gây hại cho môi trường, đặc biệt là các vùng đất ngập nước nhạy cảm với các loài sinh vật sinh sống ở đó. Nghiên cứu dùng chất rẻ tiền, sẵn có, dễ đo như muối ăn (NaCl) được đề xuất áp dụng để nghiên cứu lưu tốc dòng chảy ở khu đất ngập nước kiến tạo chảy ngầm để xử lý nước thải sinh hoạt. Nồng độ muối dễ dàng đo độ dẫn điện bằng một máy Orion-105 EC-meter cầm tay.

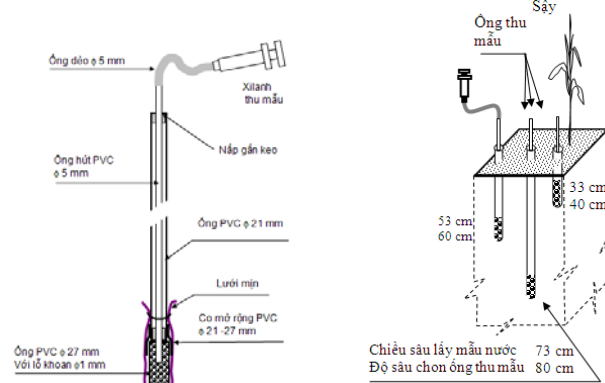
2 PHƯƠNG PHÁP VÀ PHƯƠNG TIỆN

Năm 2003, một khu thực nghiệm đất ngập nước kiến tạo chảy ngầm để xử lý nước thải sinh hoạt được xây dựng tại Khu I, trường Đại học Cần Thơ với các kích thước được mô tả như Hình 3. Cây trồng được chọn là sậy với mật độ trồng là 25 cây/m². Nước thải từ các hộ gia đình được bơm qua một khối cát lọc (cát xây dựng có độ rỗng 47%) có trồng sậy. Cát được sử dụng trong thực nghiệm này là cát xây dựng đã được sàng rửa bằng nước sạch trước nhiều lần nhằm giới hạn trao đổi cation trong nền cát. Lượng nước thải bơm ban đầu lúc thực nghiệm là 600 lít bơm thành 2 đợt lúc 7 giờ sáng và 7 giờ chiều.



Hình 3: Mặt cắt đứng khu đất ngập nước kiến tạo chầy ngầm

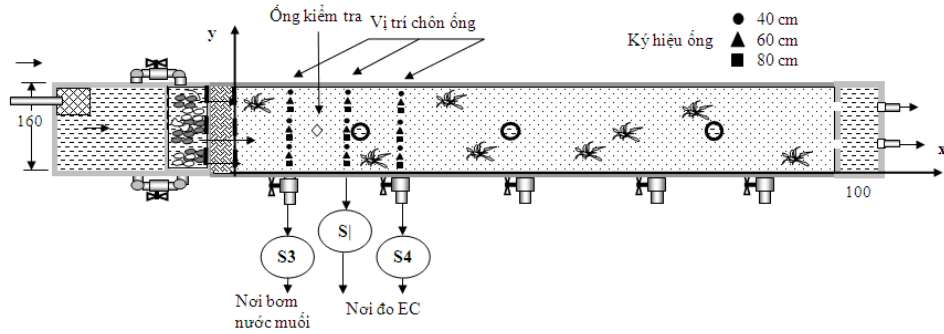
Để xác định lưu tốc dòng chảy, một loạt các ống thu mẫu bằng ống PVC được chế tạo có đường kính $\Phi 21$ có chiều dài tương ứng với các độ sâu chôn ống 40 cm, 60 cm và 80 cm. Đáy ống nơi lấy mẫu nước được khoan lỗ để nước thấm vào và được bịt kín bằng loại lưới mịn (có đường kính lỗ 0,05 – 0,2 mm) để ngăn cát vào trong ống. Phần thu mẫu nước có chiều dài 10 cm. Phía trên mẫu được bịt kín bằng keo để ngăn nước mưa hoặc nước thải từ trên chảy xuống nơi lấy mẫu. Một ống nhựa 10 mm được gắn vào lòng ống để rút mẫu nước. Mẫu nước được hút ra ngoài bằng xilanh và trữ trong bình nhựa dẻo có dung tích 1 lít (Hình 4).



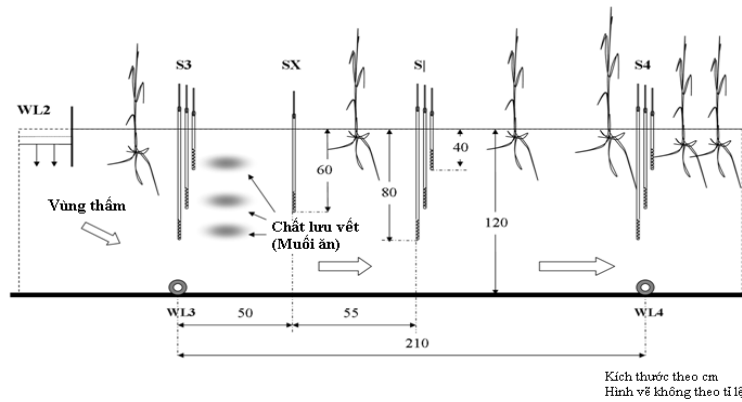
Hình 4: Minh họa chi tiết ống thu mẫu (trái) và chôn ống thu mẫu vào nền cát – sậy (phải)

Ống thu mẫu được bố trí giữa 2 điểm lấy mẫu theo ký hiệu và khoảng cách như hình 5 và hình 6. Muối (Sodium Chloride, NaCl) được pha với nước ở nồng độ 500 g NaCl/20 lít để bơm vào các ống ở vị trí S3. Nồng độ này đã thử nghiệm trước để chứng tỏ không ảnh hưởng đến sinh trưởng cây sậy vì sậy có thể chịu đựng trong môi trường nước mặn đến 30 ppm (Tuấn *et al.*, 2009). Nước muối sẽ chảy từ vị trí S3 qua ống kiểm tra SX đến vị trí S1 và tiếp tục đến vị trí S4. Trước khi bơm nước muối ở vị trí S3, 9 ống này được rút nước với khối lượng 2L/ống để tạo lỗ rỗng. Sau đó nước muối được lần lượt bơm theo trình tự từ các ống 40 cm, đến các ống 60 cm và cuối cùng là các ống 80 cm. Để giảm thiểu nhỏ nhất xáo trộn

hệ thống khi lấy mẫu, mỗi ống lấy mẫu chỉ thu một lượng nhỏ khoảng 90 mL, gồm 40 mL để lấy đáy ống nhựa hút lên và 50 mL để đo EC.



Hình 5: Mặt bằng bố trí chôn ống bơm nước muối và thu mẫu



Hình 6: Bố trí thực nghiệm mặt đứng ống lấy mẫu

Các ký hiệu WL2, WL3 và WL4 là các ký hiệu vị trí thu mẫu nước của hệ thống

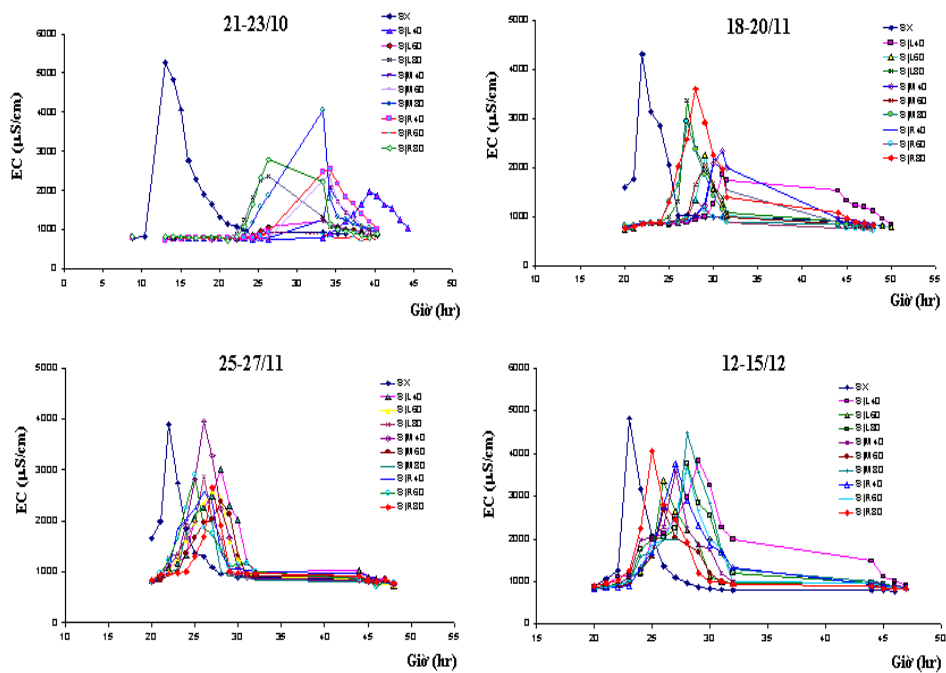
Bốn đợt thực nghiệm đã tiến hành trong năm 2005, vào các thời điểm 23-25/10, 18-20/11, 25-27/11 và 12-15/12. Thời điểm thực nghiệm trời tốt, không có mưa. Ống kiểm tra SX được đo liên tục mỗi giờ để theo dõi diễn biến thay đổi độ mặn trong dòng chảy ngầm. Khi ống kiểm tra SX phát hiện nồng độ muối đi qua ống này tăng cao, mẫu nước tại các vị trí, SX, S1 và S4 được lấy mỗi giờ để đo độ dẫn điện. Việc tính toán lưu tốc chủ yếu là đoạn từ SX đến S1 vì càng đi xa nồng độ muối giảm nhanh vì bị pha loãng, khuếch tán qua không gian rỗng trong cát và được vật liệu lọc hấp thụ nên xác định điểm dẫn điện lớn nhất rất khó khăn, nhất là thời gian đo theo giờ qua đêm ở ngoài đồng đã hạn chế việc thực hiện. Trong nghiên cứu này, giả thiết ban đầu là dòng chảy nước thải qua khu đất ngập nước kiến tạo chảy ngầm nêu trên là đồng nhất theo các lớp chiều sâu vào theo phương ngang, các ảnh hưởng của dòng khuếch tán và dòng trọng lực là không đáng kể.

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kết quả cho thời gian tồn lưu thủy lực theo lý thuyết (THR_t) của dòng nước thải đi qua khu thực nghiệm trong tầng rỗng sậy là 18 ngày dựa vào tính toán tỷ số giữa khối lượng không gian rỗng trong khu đất ngập nước V_w (dài x rộng x sâu = 12 m x 1,6

m x 1,2 m), độ rỗng của nền cát (0,47) và lưu lượng chảy qua (0,6 m³/ngày). Lưu tốc lý thuyết theo đỉnh đường cong xuyên tuyến, được xác định bằng chiều dài lớp cát mà dòng nước đi qua chia cho thời gian tồn lưu thủy lực, trung bình là $V_{lt} = 0,0279$ m/giờ. Tuy nhiên, nhiều thực nghiệm cho thấy thời gian tồn lưu thủy lực theo thực tế thấp hơn nhiều ($THR_a < THR_t$) do tồn thất dòng chảy nước thải khi đi qua các khe rỗng trong cát và bị giữ lữ tích trong các lớp vật liệu lọc như đất đá và rễ cây (Breen and Chick, 1995; US-EPA, 1999; Young *et al.*, 2000) và lưu tốc dòng chảy cao nhất thực tế sẽ cao hơn vận tốc dòng chảy trung bình ($V_a > V_{lt}$).

Dung dịch chất lưu vết có độ dẫn điện EC là 33,2 dS/m. Trong 4 lần thực nghiệm, sau khi bơm chất lưu vết vào vị trí S3, việc phát hiện nồng độ chất lưu vết đầu tiên là khoảng 13-23 giờ tại điểm kiểm tra SX, cách điểm S3 là 0,5 m. Khoảng cách giữa S3 và S1 là 1,05 m, vậy lưu tốc điểm đỉnh đường cong xuyên tuyến dựa vào từ điểm S3 đến vị trí đỉnh của đường cong xuyên tuyến ở vị trí S1. Đường cong xuyên tuyến EC theo thời gian của 4 lần thực nghiệm được thể hiện ở hình 7. Kết quả tính toán lưu tốc cho thấy không có sự khác biệt đáng kể (sai số của hệ số biến động số liệu dưới 5%) giữa các vị trí lấy mẫu ở vị trí S1 sau thời gian đồng thời bơm chất lưu vết (xem kết quả ở Bảng 1).



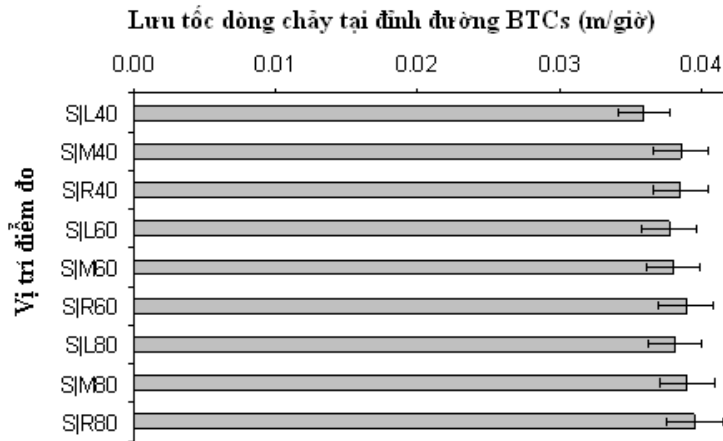
Hình 7: Đường BTCs ứng với thời gian sau khi bơm chất lưu vết qua 4 đợt thực nghiệm

Bảng 1: Kết quả đo độ dẫn điện lớn nhất và lưu tốc tại các vị trí S_i theo độ sâu

Ngày		Nồng độ EC cao nhất ở các vị trí lấy mẫu								
		S _{L40}	S _{L60}	S _{L80}	S _{M40}	S _{M60}	S _{M80}	S _{R40}	S _{R60}	S _{R80}
23-25 /10	EC	1,95	1,22	2,37	2,08	2,37	4,04	2,54	0,91	2,77
	Giờ	39	33	26	34	34	33	34	26	26
	V _p	2,68	3,16	4,00	3,07	3,07	3,16	3,07	4,00	4,00
18-20 /11	EC	1,87	2,26	2,40	2,35	2,05	2,95	2,16	1,33	3,62
	Giờ	31	29	28	31	29	27	30	28	28
	V _p	3,39	3,62	3,75	3,39	3,62	3,89	3,50	3,75	3,75
25-27 /11	EC	3,00	2,58	2,87	3,96	2,37	2,26	2,57	2,90	2,65
	Giờ	28	27	26	26	28	26	26	25	27
	V _p	3,75	3,89	4,04	4,04	3,75	4,04	4,04	4,20	3,89
12-15 /12	EC	3,83	3,37	3,77	3,58	2,67	4,48	3,77	3,65	4,05
	Giờ	29	26	28	27	26	28	27	28	25
	V _p	3,62	4,04	3,75	3,89	4,04	3,75	3,89	3,75	4,20
Lưu tốc trung bình V _a (cm/ngày)		3,36	3,68	3,89	3,60	3,62	3,71	3,63	3,93	3,96
Hệ số biến động (x 10 ⁻⁴)		0,23	0,15	0,02	0,20	0,17	0,15	0,19	0,05	0,04

Chú thích: EC - độ dẫn điện (dS/m)
 Giờ - thời gian từ lúc bơm chất lưu vết đến lúc ghi nhận điểm EC cao nhất (giờ)
 V_p - lưu tốc dòng chảy (cm/ngày) xác định qua thực nghiệm
 S_i - vị trí bố trí điểm đo
 L - ký hiệu chỉ phía bên trái nhìn từ đầu nguồn dòng chảy
 M - ký hiệu chỉ phía giữa nhìn từ đầu nguồn dòng chảy
 R - ký hiệu chỉ phía bên phải nhìn từ đầu nguồn dòng chảy
 40 - ký hiệu chỉ ống thu mẫu có độ sâu chôn ống 40 cm
 60 - ký hiệu chỉ ống thu mẫu có độ sâu chôn ống 60 cm
 80 - ký hiệu chỉ ống thu mẫu có độ sâu chôn ống 80 cm

Hình 8 thể hiện lưu tốc dòng chảy nước thải xác định qua khu đất ngập nước kiến tạo chảy ngầm nằm ngang qua thực nghiệm. Giá trị sai biệt của các trị số lưu tốc nằm trong khoảng $(0,02 \div 0,23) \times 10^{-4}$ m/giờ. Sự sai biệt không lớn giữa các điểm đo (hệ số biến động từ Cv = 3,61E-06 ÷ 2,28E-05) chứng tỏ giả thiết ban đầu là hợp lý, nghĩa là dòng chảy đồng nhất qua hệ thống ngập nước kiến tạo.



Hình 8: Lưu tốc dòng chảy nước thải chảy ngầm qua khu đất ngập nước kiến tạo

4 KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết quả nghiên cứu cho thấy giả thiết lưu tốc dòng chảy đồng nhất qua khu đất ngập nước kiến tạo đã được minh chứng với 4 lần thực nghiệm. Rễ cây sậy có thể phát triển tự do trong khu đất ngập nước nhưng do bố trí trồng đều đặn (theo mật độ 25 cây/m²) nên sự phân bố rễ theo thời gian cũng tương đối đều khắp trong không gian vùng rễ. Do đó sự sai biệt trung bình giữa các lần thực nghiệm không lớn và nằm trong mức chấp nhận được ($V_{a(max/min)} = 0,0396 \div 0,0336$ m/giờ). Khoảng lưu tốc dòng chảy thực tế tại đỉnh đường BTCs cao hơn vận tốc trung bình lý thuyết ($V_{lt} = 0,0279$ m/giờ) là hoàn toàn phù hợp.

Việc sử dụng muối ăn được đánh giá là một biện pháp rất rẻ tiền, ít độc hại cho cây trồng và khá hiệu quả cho việc thực nghiệm dòng chảy trong đất ngập nước kiến tạo. Qua thí nghiệm, sự phát triển của sậy không bị ảnh hưởng chứng tỏ nồng độ muối bơm vào hệ thống là phù hợp. Trong thí nghiệm này, việc sử dụng muối ăn thay vì hóa chất độc hại như thuốc nhuộm hay chất phóng xạ được xem là một sáng tạo trong nghiên cứu trong điều kiện khó khăn về kinh phí và thiết bị.

Nghiên cứu thực nghiệm có thể triển khai ở các độ sâu khác nhau dưới lớp đất ngập nước. Việc lấy mẫu nước và đo đặc độ dẫn điện mỗi giờ khá tốn công sức và hạn chế khi không thể lấy mẫu thường xuyên vào ban đêm ở ngoài đồng. Kiến nghị các nghiên cứu về sau có thể lắp các thanh đo cảm ứng (sensors) ở các vị trí khác nhau của khu đất ngập nước kiến tạo nối với một mạch điện tử ghi độ dẫn điện một cách liên tục theo các bước thời gian đo cho trước. Cách làm này có thể đắt tiền hơn và hiện đại hơn nhưng sẽ cho chuỗi dữ liệu chính xác hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Albuquerque A. and Bandejas R., 2007. *Analysis of Hydrodynamic characteristics of a horizontal subsurface flow constructed wetland*. Paper presented in the International Conference on Water Pollution in natural Porous media at different scales: Assessment of fate, impact and indicators. Barcelona, Spain.
- Breen, P. F. and Chick, A. J., 1995. Root zone dynamics in constructed wetlands receiving wastewater: a comparison of vertical and horizontal flow systems. *Water Science and Technology*, **32**:281-290.
- Cherry, J. A., and Freeze, R. A., 1979. *Groundwater*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Davis, L., 1995. *A handbook of constructed wetlands, Volume 1: General considerations*, USDA-NRCS, EPA Region III.
- Everardo V., Bruce L. and Suresh D.P., 2003. Transport and survival of bacterial and viral tracers through submerged-flow constructed wetland and sand-filter system. *Bioresource Technology*: **89**(1):49-56.
- Jan V. and Harry V., 2002. Estimation of local scale dispersion from local breakthrough curves during a tracer test in a heterogeneous aquifer: the Lagrangian approach. *Journal of Contaminant Hydrology*, **54**:141-171.
- Florent C., Gérard M. and Yves G., 2003. Hydrodynamics of horizontal subsurface flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, **21**:165-173.
- Lin A.Y.C., Debroux J.F., Cunningham J.A., and Reinhard M., 2003. Comparison of Rhodamine WT and Bromide in the determination of hydraulic characteristics of constructed wetlands. *Ecological Engineering*, **20**:75-88, 2003, doi:10.1016/S0925-8574(03)00005-3.
- Mark E.G., Markus T. and Heather L.S., 2001. Hydraulic Characteristics of a Subsurface Flow Constructed Wetland for Winery Effluent Treatment. *Water Environment Research*, **73**(4):466-477.
- Przemyslaw W., Piotr C. and Piotr M., 2003. Hydraulic characteristics of constructed wetlands evaluated by means of tracer tests. In: *Trace Elements and Isotopes in Geochemistry*, 83-89.
- Sherman B.S., Trefry M.G. and Davey P., 2009. *Hydraulic characterization of a construction wetland used for nitrogen removal via a dual-tracer test*. Paper presented in the International Mine Water Conference, Pretoria, South Africa.
- Tuấn, L.A., L.H. Việt và Guido W., 2009. *Đất ngập nước kiến tạo*. Nhà xuất bản Nông nghiệp Tp. HCM.
- US-EPA, 1999. *Manual of constructed wetlands treatment of municipal wastewaters*. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.
- Young, T. C., Collins, A. G. and Theis, T. L., 2000. *Subsurface flow wetland for wastewater treatment at Minoa, NY*. Report to NYSERDA and USEPA, Clarkson University, NY.