

# Hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt của hệ thống đất ngập nước nhân tạo tích hợp

Nguyễn Xuân Cường<sup>1</sup>, Nguyễn Thị Loan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Phân hiệu Đại học Huế tại Quảng Trị, Đại học Huế, 133 Lý Thường Kiệt, Đông Hà, Quảng Trị

<sup>2</sup>Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN, 334 Nguyễn Trãi, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 21 tháng 12 năm 2015

Chỉnh sửa ngày 28 tháng 12 năm 2015; Chấp nhận đăng ngày 14 tháng 01 năm 2016

**Tóm tắt:** Mô hình đất ngập nước nhân tạo (CW) đã được nghiên cứu và áp dụng hiệu quả trong xử lý nước thải sinh hoạt. Tuy nhiên, để loại bỏ hiệu quả chất dinh dưỡng và tăng hiệu suất xử lý, cần sử dụng mô hình CW tích hợp. Mô hình thí nghiệm CW gồm: dòng chảy ngang (HF) – dòng chảy đứng (VF) - dòng chảy tự do bề mặt (FWS) với cây chuối hoa (*Canna hybrids*), môn nước (*Colocasia esculenta*), môn đốm (*Caladium bicolor*), phát lộc (*Dracaena sanderiana*) và hoa súng (*Nymphaea*). Nước thải vận hành được lấy tại công trường sinh hoạt khu phố 1, phường 1, thành phố Đông Hà, tỉnh Quảng Trị. Mô hình vận hành với 2 tải lượng thủy lực (HLR) là 5 cm/ng và 10 cm/ng. Hiệu quả xử lý (E) BOD<sub>5</sub> (nhu cầu oxy sinh hóa) trung bình 83,7%, TSS (tổng chất rắn lơ lửng) 75,5%, NH<sub>4</sub>-N (amoni) 87%, PO<sub>4</sub>-P (photphat) 15,6% và TCol (tổng Coliforms) 98,9%. Khi tải lượng tăng từ 5 cm/ng đến 10 cm/ng, E BOD<sub>5</sub> giảm từ 84,8% xuống 82,6%, TSS từ 83,8% xuống 67,1%, NH<sub>4</sub>-N tăng từ 85,6% lên 88,2%. Giá trị thông số ô nhiễm đầu ra ở cả hai mức tải lượng thủy lực đều thấp hơn giá trị Cmax trong QCVN 14:2008/BTNMT.

**Từ khóa:** đất ngập nước nhân tạo, wetland, xử lý nước thải, nước thải sinh hoạt.

## 1. Giới thiệu

Hiện nay tất cả nước thải sinh hoạt thành phố Đông Hà đang xả trực tiếp ra môi trường, gây ô nhiễm cục bộ hạ lưu sông Hiếu và các ao, hồ nội thành. Xử lý nước thải bằng các nhà máy tập trung là phương án đang được địa phương xem xét, tuy nhiên nó tồn tại nhiều nhược điểm như chi phí xây dựng và vận hành cao, vốn vay ODA chủ yếu, đầu ra không ổn định...[1]. Do đó, tiếp cận theo hướng sử dụng các công trình tự nhiên – nhân tạo với quy mô linh động như CW để xử lý nước thải thành phố là cần thiết.

Công nghệ CW có ưu điểm là chi phí đầu tư và vận hành thấp [2-4], tiêu thụ ít điện năng (<0,1 kW.h/m<sup>3</sup>) so với bùn hoạt tính (0,76 kW.h/m<sup>3</sup>), SBR(1,13 kW.h/m<sup>3</sup>) và hồ tùy nghi (1,16 kW.h/m<sup>3</sup>) [5] và kỹ thuật vận hành đơn giản. Theo Liu và nnk (2009), chi phí đầu tư hệ thống CW chỉ bằng 1/2 đến 1/3 so với nhà máy xử lý nước thải truyền thống [6].

Sử dụng riêng lẻ từng từng CW thường cho hiệu quả thấp, đặc biệt không xử lý triệt để ni-tơ, phot-pho [7-9]. Mô hình kết hợp làm tăng hiệu quả xử lý, đặc biệt loại bỏ ni-tơ. Ngoài ra, nó còn làm cân bằng giữa ưu điểm và nhược điểm giữa các kiểu CW [10].

\* Tác giả liên hệ. ĐT: 84-974090333.

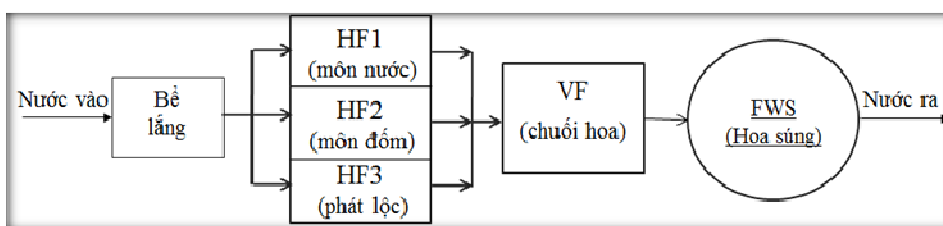
Email: nguyencuongqt2008@gmail.com

Nghiên cứu này nhằm làm rõ hiệu quả xử lý nước thải sinh hoạt bằng mô hình 3 giai đoạn với các thực vật khác nhau, qua đó tìm ra thông số vận hành phù hợp trong điều kiện không tuần hoàn nước thải.

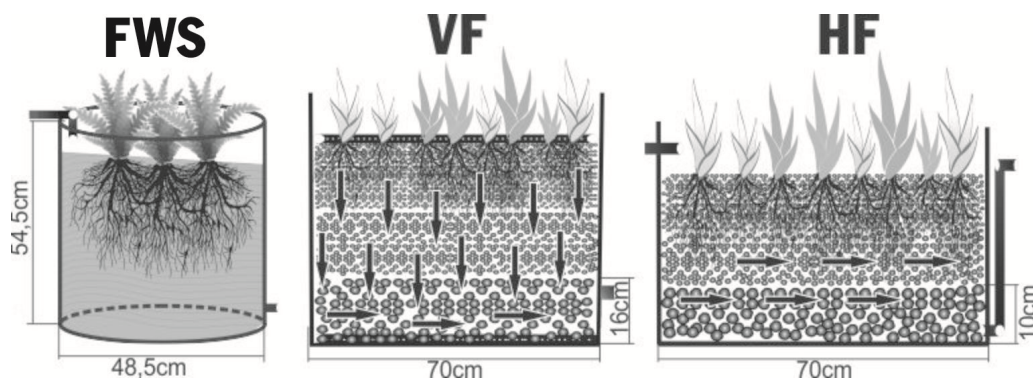
## 2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Bố trí thí nghiệm

Mô hình thí nghiệm được bố trí theo thứ tự: 3 bể HF, 1 bể VF và 1 bể FWS. Nước đầu vào được cho qua bể lắng nhằm loại bỏ một phần cát và chất rắn lơ lửng.



Hình 1. Sơ đồ mô hình thí nghiệm.



Hình 2. Chi tiết các bể thí nghiệm.



Hình 3. Mô hình thí nghiệm hoàn thành.

## 2.2. Kích thước và vật liệu

Các bể làm bằng vật liệu xốp, hình chữ nhật, kích thước (Dài x Rộng x Cao) (cm) tương ứng : VF (70 x 50 x 40); HF (70 x 50 x 60). FWS có thể tích 80 lít, đường kính 48,5 cm, cao 54,5 cm.

Giá thể lọc gồm đá sỏi, được sắp xếp thành 3 lớp theo kích thước giảm dần từ dưới lên. Lớp dưới cùng có kích thước 3 – 4 cm, lớp thứ hai 1 – 2 cm và lớp trên cùng nhỏ hơn 1cm.

## 2.3. Cây trồng

Cây trồng trong thí nghiệm gồm: Cây chuối hoa (*Canna hybrids*) trong VF. 3 HF gồm cây môn nước (*Colocasia esculenta*) trong bể HF1, môn đóm (*Caladium bicolor*) trong bể HF2 và phát lộc (*Dracaena sanderiana*) trong HF3. Cây hoa súng (*Nymphaea*) được trồng trong FWS. Cây chuối hoa được báo cáo có hiệu quả

cao trong xử lý nước thải và tạo cảnh quan [11, 12]. Các loại cây còn lại chưa được nghiên cứu nhiều trong môi trường CW xử lý nước thải. Bốn loại cây này có các đặc điểm phù hợp cho quá trình sạch nước như sinh trưởng tốt trong môi trường ngập nước hoặc nước ô nhiễm và có rễ phát triển mạnh.

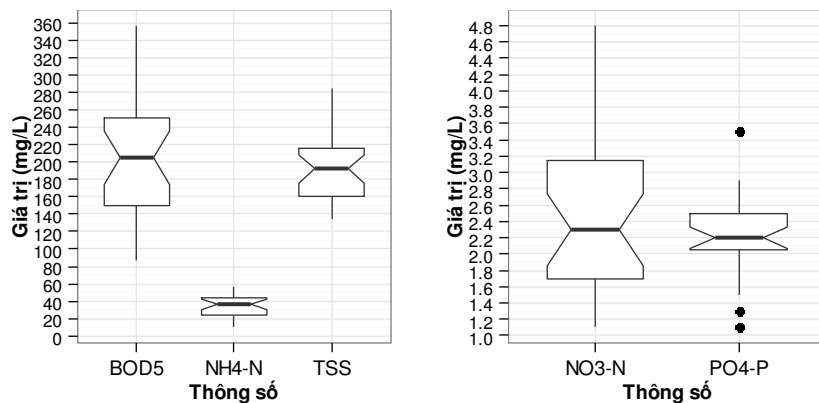
Cây trồng được tách ra và uơm mầm trước khi đưa vào mô hình 30 ngày và 15 ngày trước khi vận hành chính thức với nước thải thực tế. Thân cây cao trung bình 30 – 50 cm, có từ 3 – 6 lá. Cây được trồng trong bể với khoảng cách 5 – 10cm.

## 2.4. Đặc trưng nước thải đầu vào

Nước thải đầu vào của thí nghiệm được lấy hàng ngày (lấy mẫu tổ hợp 3 lần/ngày), tại cống thải sinh hoạt sông Hiếu –chợ Đông Hà. Kết quả cụ thể được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số nước thải đầu vào mô hình thí nghiệm (số mẫu = 27)

Thông số	Trung bình	Độ lệch chuẩn	Hệ số biến thiên	Nhỏ nhất	Lớn nhất
pH	6,8	0,09	0,01	6,6	6,9
TSS (mg/L)	192,8	39,8	0,21	134	284
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	209,2	68,7	0,33	87	357
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	2,5	1,01	0,41	1,1	4,8
NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	35,1	13,1	0,37	97	56,3
PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	2,3	0,5	0,23	1,1	3,5
TCol (MPN/100 ml)	14.764	81.903	0,55	10.400	335.000



Hình 4. Khoảng biến động giá trị thông số nước thải đầu vào.

Hình 4 thể hiện các giá trị đầu vào gồm trung vị, bách phân vị 25% (Q1), 75% (Q3) và ngoại vi. Chẳng hạn, trung vị BOD là 205 mg/L, Q1 = 150 mg/L, Q3 = 251 mg/L và trung vị, Q1 và Q3 của TSS lần lượt là 192 mg/L, 144 mg/L và 210 mg/L. Giá trị PO<sub>4</sub>-P biến động mạnh và có ba giá trị ngoại vi. Tất cả các giá trị ô nhiễm đầu vào đều vượt QCVN 14:2008/BTNMT.

### 2.5. Thông số vận hành

Mô hình vận hành với HLR1 = 5 cm/ng (từ 12/5 đến 26/6), lưu lượng Q = 60 L/ng và HLR2 = 10 cm/ng (từ 27/6 đến 11/8), Q = 120 L/ng. HLR trong một số nghiên cứu về CW phổ biến 1 – 29,5 cm/ng [9, 11, 13].

Nước cấp vào bể HF, FWS liên tục, và VF không liên tục, 6h/lần. Thể tích HF = 0,14 m<sup>3</sup>, VF = 0,21 m<sup>3</sup>, FWS = 0,08 m<sup>3</sup>.

Tại mức HLR1, HRT của FWS = 1 ngày, HRT của HF = 0,76 ngày và HRT của VF = 1,15 ngày. HRT tổng cộng của hệ thống = 2,91 ngày. Và tại mức HLR2, HRT của FWS = 0,5 ngày, HRT của HF = 0,38 ngày và HRT của VF = 0,57 ngày. HRT tổng cộng của hệ thống = 1,46 ngày.

### 2.6. Phân tích và thống kê

Hiệu quả của mô hình được đánh giá qua các thông số gồm: pH, BOD<sub>5</sub>, TSS, NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P và TCol. Mẫu được lấy 2

lần/tuần, 12 mẫu/lần từ 12/5/2015 đến 11/8/2015. Mẫu được phân tích dựa theo tiêu chuẩn (APHA, 1999) [14]. Phân tích thông kê và vẽ biểu đồ được thực hiện bằng phần mềm R (version 3.2.2).

## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Biến động hiệu quả xử lý

Bảng 2 và hình 5 thể hiện giá trị đầu ra và E của mô hình với HLR1 = 5 cm/ng và HLR2 = 10 cm/ng. HLR tăng làm E BOD<sub>5</sub>, TSS và PO<sub>4</sub>-P giảm và NH<sub>4</sub>-N, TCol tăng.

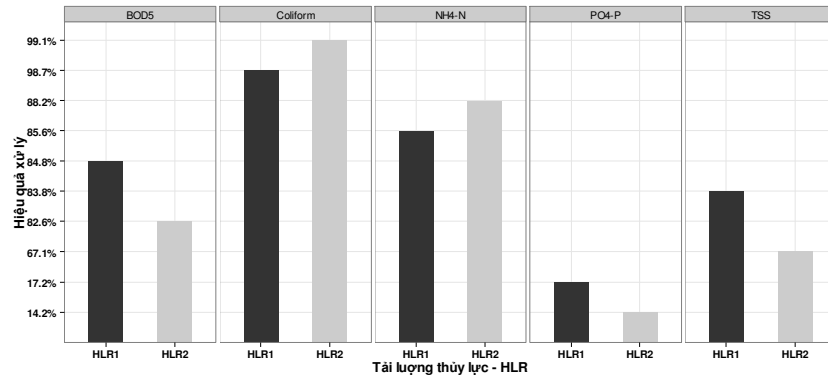
Hình 6 cho thấy E đối với thông số NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P và NH<sub>4</sub>-N giao động mạnh nhất. E PO<sub>4</sub>-P từ -54% đến 41% và NH<sub>3</sub>-N từ 63% đến 95%. So với hệ thống HF – VF [15] thì hệ thống này có hiệu quả xử lý NH<sub>4</sub>-N cao hơn. Trong khi đó, E TCol cao và ít biến động, ổn định trong khoảng 94% đến 99%. E BOD<sub>5</sub> giao động trong khoảng từ 74% đến 93% và TSS từ 47% đến 96%.

### 3.2. Hiệu quả xử lý của BOD<sub>5</sub>, TSS và TCol

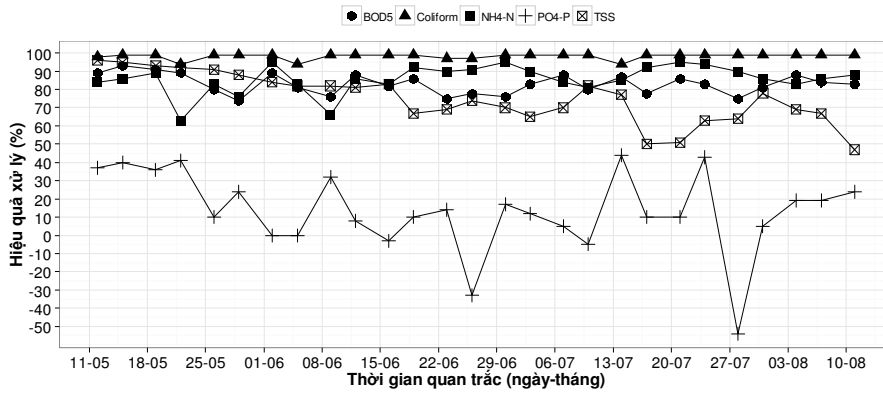
Hình 7 cho thấy E đối với BOD<sub>5</sub> trung bình 83,8%. Với HLR1 = 5 cm/ng, E = 84,6% và BOD<sub>5</sub> đầu ra là 32,1 mg/L và HLR2 = 10 cm/ng, E = 82,8% và BOD<sub>5</sub> ra là 35,9 mg/L. Với mô hình tương tự (HF – VF), Abidi và nnk (2009) báo cáo: E của BOD<sub>5</sub> là 53% với HRL = 8,6 cm/ng [15].

Bảng 2. Nồng độ các thông số và hiệu quả xử lý với HLR1 và HLR2

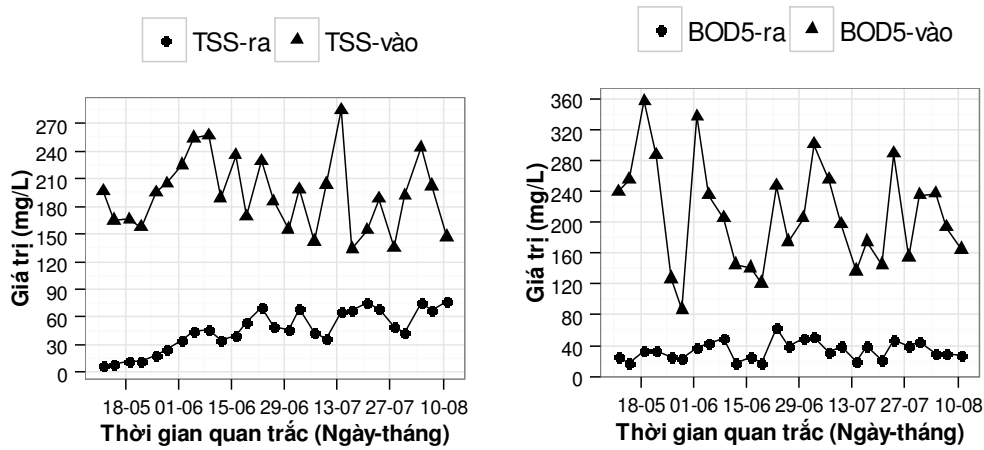
Thông số	HLR1 = 5 cm/ng			HLR2 = 10 cm/ng			C <sub>max</sub> QCVN 14: 2008/BTNMT
	Đầu vào	Đầu ra	E (%)	Đầu vào	Đầu ra	E (%)	
pH	6,8	6,8		6,8	6,7		5-9
TSS (mg/L)	201,9	32,7	83,8	183	60,2	67,1	100
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	211,4	32,1	84,8	206,9	35,9	82,6	50
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)	2,4	21,5	-789,1	2,6	25,2	-889,7	50
NH <sub>4</sub> -N (mg/L)	31,2	4,5	85,7	39,2	4,6	88,2	10
PO <sub>4</sub> -P (mg/L)	2,2	1,8	17,2	2,3	1,9	14,2	10
Tcol (MPN/100 ml)	17.857	2.355	98,7	114.338	984	99,14	5.000



Hình 5. Hiệu quả xử lý theo tải lượng thủy lực.



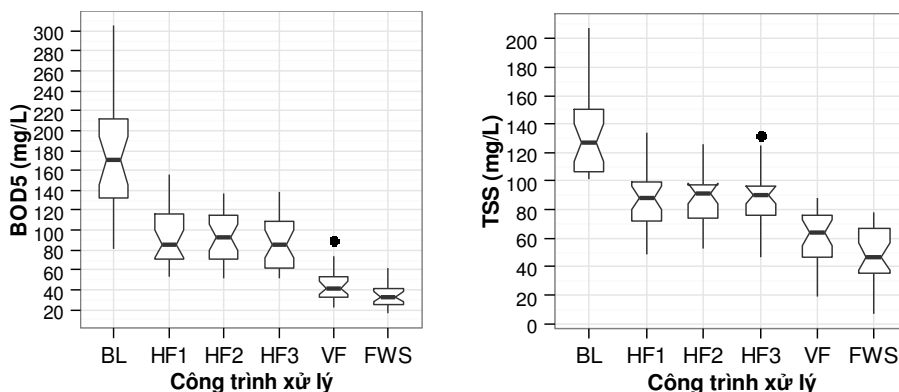
Hình 6. Biến động hiệu quả xử lý theo thời gian.



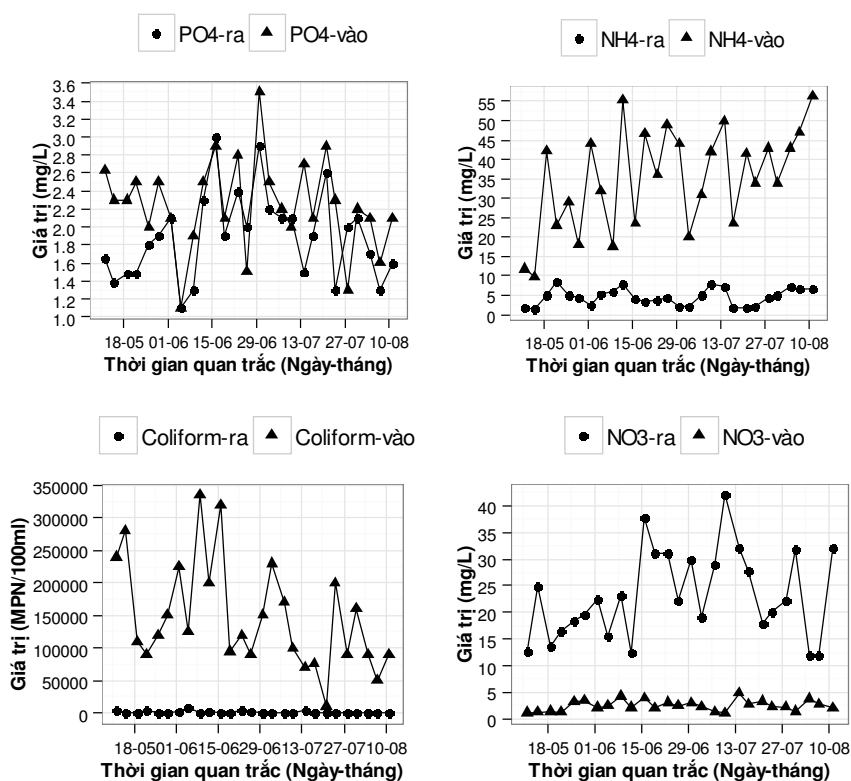
Hình 7. Biến động giá trị đầu vào – ra của TSS và BOD<sub>5</sub> và theo thời gian.

Tải lượng hữu cơ của BOD<sub>5</sub> của mô hình này là 15,7 g/m<sup>2</sup>/ng. Nghiên cứu ở Landborup - Đan Mạch [16] và Dhulikhel - Nepal [10], E BOD<sub>5</sub> 96%, mô hình ở Wiklino - Ba Lan [17], E BOD<sub>5</sub> là 82% và tải lượng hữu cơ từ 3,8 đến

5,6 g/m<sup>2</sup>/ng. Cuối gian đoạn quan trắc, TSS đầu ra tăng. Hiện tượng này có thể liên quan sự phát triển và thoái hóa thực vật, làm gia tăng TSS trong nước thải. Tuy nhiên, cần có quan trắc trong thời gian dài hơn để có đánh giá chính xác.



Hình 8. Biến động giá trị BOD<sub>5</sub> và TSS tại các bể xử lý.



Hình 9. Biến động giá trị các thông số NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P và TCol.

Hình 8 cho thấy BOD<sub>5</sub> đầu ra có trung vị là 33 mg/L, Q1 = 25 mg/L, Q3 = 44 mg/L. TSS có trung vị = 46,8 mg/L, Q1 = 35 mg/L, Q3 = 67 mg/L. E tại bể lắng ổn định với tất cả các thông số. Tại 3 bể HF, E của BOD<sub>5</sub> cao nhất ở bể HF2 (trồng cây môn đóm) và thấp nhất là bể HF1 (trồng cây môn nước). Trong khi đó, E của TSS ổn định ở cả 3 bể HF. Quan sát mô hình cũng cho thấy sự phát triển mạnh nhất thân và lá của cây môn đóm trong bể HF2.

### 3.3. Hiệu quả xử lý chất dinh dưỡng và TCol

E đối với NH<sub>4</sub>-N trung bình đạt 87%. Cùng với kiểu mô hình HF-VF, E NH<sub>4</sub>-N tương đương với báo cáo của Obarska-Pempkowiak và Gajewska (2005) [17] và thấp hơn Vyzamal (2005) [10] và Brix (2003) [16] (E đạt 90-96%). E NO<sub>3</sub>-N có giá trị âm vì liên quan đến quá trình nitrat hóa, amoni chuyển hóa thành NO<sub>3</sub>-N, trong khi đó nước thải không được tuần hoàn, quá trình phân nitrat hóa diễn ra chậm [8, 10].

E TCol đạt 98,9% và PO<sub>4</sub>-P từ -50% đến 51%. E TCol cao vì hệ thống gồm nhiều bậc và vi khuẩn được loại bỏ trong tất cả các bậc xử lý bao gồm cả cả bể lắng.

Biến động đầu ra của NH<sub>4</sub>-N và NO<sub>3</sub>-N ở 3 bể HF không lớn. Điều này có nghĩa sự khác nhau giữa 3 loại cây môn đóm, môn nước và phát lộc trong bể VF không ảnh hưởng đến E của nitơ. Với kiểu cấp nước VF gián đoạn, là điều kiện tốt cho quá trình nitrat hóa, do đó E của NH<sub>4</sub>-N trong bể HF khá cao (82,1%).

## 4. Kết luận

Nghiên cứu này cho thấy sử dụng mô hình kết hợp HF – VF – FWS với HLR 5 – 10 cm/ng, nước thải đầu ra đạt yêu cầu QCVN 14:2008/BTNMT. Cây trồng phát triển tốt trong môi trường thí nghiệm, trong đó E BOD<sub>5</sub> cao hơn ở bể HF trồng cây môn đóm. Do đó, với nước thải có BOD<sub>5</sub> cao nên ưu tiên sử dụng cây môn đóm trong công trình CW quy mô thực tế.

Với kiểu kết hợp HF trước VF và cấp nước gián đoạn góp phần tăng quá trình xử lý NH<sub>4</sub>-N, tuy nhiên làm giảm khả năng xử lý NO<sub>3</sub>-N. Để cải thiện khả năng xử lý NO<sub>3</sub>-N, có thể cần kết hợp tuần hoàn nước sau bể FWS. Kết quả xử lý PO<sub>4</sub>-P bao gồm cả giá trị âm, do đó nếu nước thải đầu vào có PO<sub>4</sub>-P cao, cần bổ sung vật liệu lọc làm giá thể có khả năng xử lý PO<sub>4</sub>-P.

## Tài liệu tham khảo

- [1] WB, Vietnam-Urban wastewater review: Executive summary, World Bank, Washington DC, 2013.
- [2] Babatunde, A.O., Y.Q. Zhao, M. O'Neill, and B. O'Sullivan, Constructed wetlands for environmental pollution control: a review of developments, research and practice in Ireland, Environment International 34 (2008) 116.
- [3] Crites, R.W. and M. Ogden, Cost of constructed wetlands systems, in WEFTEC 98, Florida, US (1998).
- [4] Toscano, A., G. Langergraber, S. Consoli, and G.L. Cirelli, Modelling pollutant removal in a pilot-scale two-stage subsurface flow constructed wetlands Ecological Engineering, 35 (2009) 281.
- [5] Kadlec, R.H. and S.D. Wallace, Treatment wetlands, ICRC Press, Florida, US 2009.
- [6] Liu, D., Y. Ge, J. Chang, C. Peng, B. Gu, G. Chan, and X. Wu, Constructed wetlands in China: recent developments and future challenges, Frontiers in Ecology and the Environment, 7 (2009) 261.
- [7] Fenxia, Y. and Y. Li, Enhancement of nitrogen removal in tower hybrid constructed wetland to treat domestic wastewater for small rural communities, Ecological Engineering 35 (2009) 1043.
- [8] Sayadi, M.H., R. Kargar, M.R. Doosti, and H. Salehi, Hybrid constructed wetlands for wastewater treatment: A worldwide review, in International Academy of Ecology and Environmental Sciences: IAEES (2009)
- [9] Vymazal, J. and L. Kröpfelová, A three - stage experimental constructed wetland for treatment of domestic sewage: First 2 years of operation, Ecological Engineering 37 (2011) 90.
- [10] Vymazal, Y., Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment, Ecological Engineering 25 (2005) 478.
- [11] Calheiros, C.S.C., A.O.S.S. Rangel, and P.M.L. Castro, Constructed wetland systems vegetated with different plant applied to the treatment of tannery wastewater, Water Research, 41 (2007) 1790.

- [12] Joawo, S.O., G. Udayakumar, and P. Naik, Phytoremediation of Phosphorus and Nitrogen with *Canna x generalis* Reeds in Domestic Wastewater through NMAMIT Constructed Wetland, *Aquatic Procedia*, 4 (2015) 349.
- [13] Dong, Y., P.R. Wiliski, M. Dzakpasu, and M. Scholz, Impact of hydraulic loading rate and season on water contaminant reductions within integrated constructed wetlands *Wetlands* 31 (2011) 499.
- [14] APHA, WEF, and AWWA, *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*, Centennial Edition. 20 ed, Washington DC. US, 1999.
- [15] Abidi, S., H. Kallali, N. Jedidi, O. Bouzaiane, and A. Hassen, Comparative pilot study of the performances of two constructed wetland wastewater treatment hybrid systems, *Desalination*, 248 (2009) 49.
- [16] Brix, H., C.A. Arias, and N.H. Johansen, Experiments in a two-stage constructed wetland system: Nitrification capacity and effects of recycling on nitrogen removal in Wetlands - nutrients, metals and mass cycling J.Vymazal, Editor. 2003, Backhuys: The Netherlands.
- [17] Obarska-Pempkowiak, H. and M. Gajewska, Operation of Multistage Constructed Wetlands Systems in Temporary Climate in International symposium on water management and hydraulic engineering, Austria (2005).

## The Removal Performance of Three-Stage Constructed Wetland for Domestic Wastewater Treatment

Nguyễn Xuân Cường<sup>1</sup>, Nguyễn Thị Loan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Huế University – Quảng Trị Campus, 133 Lý Thường Kiệt, Đông Hà, Quảng Trị, Vietnam*

<sup>2</sup>*VNU University of Science, 334 Nguyễn Trãi, Hanoi, Vietnam*

**Abstract:** Constructed wetland (CW) have been studying and using efficiently for domestic wastewater treatment. However, to remove the nutrients, a combined system with three-stage are needed. The lab scale CW included three continuous tanks: Horizontal flow (HF) – Vertical flow (VF) – Free water surface (FWS) with *Canna hybrids*, *Colocasia esculenta*, *Caladium bicolor*, *Dracaena sanderiana* and *Nymphaea* to treat the municipal wastewater of Dong Ha city, Quang Tri province. The system was loaded with two hydraulic load retentions (HLR) of 5 cm/d and 10 cm/d. The average percentage of removal was 83,7%, 95,9%, 87%, 15,6%, 98,8% of biochemical oxygen demand (BOD<sub>5</sub>), total suspended solid (TSS), ammonia nitrogen (NH<sub>4</sub>-N), phosphate (PO<sub>4</sub>-P) and total Coliforms, respectively. The effluents of two HLRs were lower than National technical regulation on domestic wastewater.

**Keywords:** Domestic wastewater, constructed wetland, combined wetland.