TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Nghiên cứu chế tạo thử nghiệm thiết bị xử lý nguồn nước thuỷ cục nhiễm mặn hiệu suất cao cho các hộ gia đình ở vùng đồng bằng sông Cửu Long

Huỳnh Quyền[1], Huỳnh Anh Hoàng[2*], Đỗ Minh Dương[3]

[1,2] Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường thành phố HCM; hquyen@hcmunre.edu.vn; hahoang@hcmunre.edu.vn

[3] Trung Tâm Quan Trắc – Kỹ thuật Tài Nguyên & Môi Trường tỉnh Bình Dương; dminhduong@gmail.com

*Tác giả liên hệ: hahoang@hcmunre.edu.vn; Tel: +84–934978151

Ban Biên tập nhận bài: 8/9/2022; Ngày phản biện xong: 12/11/2022; Ngày đăng bài: 25/12/2022

Tóm tắt: Trong những năm qua, nguồn nước thuỷ cục của một số địa phương tại ĐBSCL đã bị nhiễm mặn lên đến 4‰ đã ảnh hưởng trực tiếp đến sinh hoạt của người dân, nhất là trong những tháng mùa khô. Nghiên cứu này đã chế tạo thử nghiệm thiết bị xử lý nước hiệu suất cao có khả năng khử mặn đạt quy chuẩn QCVN 01–1:2018/BYT ở nồng độ mặn đầu vào ≤ 6‰ và có thể uống trực tiếp. Tỉ lệ sản xuất nước sạch là 53,7÷80,6% đối với mẫu nước máy ở áp suất làm việc 8–9 bar. Nước nhiễm mặn 5‰, tỉ lệ sản suất nước sạch đạt 18,7÷29,1%. Khả năng thu hồi nước xả có thể đạt đến 93,3% ở áp suất 8 bar đối với mẫu nước máy.

Từ khóa: Thiết bị RO; Thẩm thấu ngược; Nước mặn; Nước lợ; Nước sinh hoạt.

1. Giới thiệu

Nước nhiễm mặn (hay còn được gọi là nước lợ) là loại nước có độ mặn cao hơn độ mặn của nước ngọt, nhưng không cao bằng nước mặn. Nó có thể là kết quả của sự pha trộn giữa nước biển với nước ngọt, chẳng hạn như tại các khu vực cửa sông hoặc nó có thể xuất hiện trong các tầng ngậm nước lợ hóa thạch [1]. Một số hoạt động nhất định của con người cũng có thể tạo ra nước nhiễm mặn, cụ thể là trong một số dự án kỹ thuật xây dựng đê điều ven biển, thủy điện hay việc làm ngập các vùng đất lầy ven biển để tạo ra các ao hồ nước lợ để nuôi tôm và cũng có thể do tác động của biến đổi khí hậu.

Độ dẫn điện của nước là thước đo nồng độ của các ion có khả năng mang điện [2]. Độ dẫn điện được sử dụng để ước tính TDS và độ mặn của nước. Phân loại độ dẫn, TDS và độ mặn của nước ngọt, nước lợ, nước biển và nước muối được trình bày trong bảng 1 [3–6].

Bảng 1. Độ dẫn, TDS và độ mặn của nước ngọt, nước lợ, nước biển và nước muối.

Độ mặn của nước	Đặc tính Hóa lý		
	Độ dẫn điện (µS/cm)	TDS (mg/L)	Độ mặn (‰)
Nước ngọt	150–500	< 1000	< 0,5
Nước lợ	1000–80.000	1000–5000	0,5–17
Nước biển	55.000	30.000–40.000	35–40
Nước muối	≥ 55.000	≥ 100.000	≥ 50

Tổng chất rắn hòa tan (TDS) bao gồm các chất vô cơ như khoáng, muối, kim loại cũng như các hợp chất hữu cơ hòa tan có trong nước [7].

Trong những năm gần đây, đặc biệt là năm 2015 và 2016, tình hình thiệt hại do xâm nhập mặn gây ra ngày càng trở nên nghiêm trọng ở các vùng ven biển, nhất là ở Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL). Do vị trí địa lý, ĐBSCL chịu ảnh hưởng của thủy triều từ biển Đông và biển Tây. Trong mùa cạn, khi lưu lượng nước ở thượng lưu đổ về giảm, thủy triều ảnh hưởng mạnh lên thượng lưu và hệ thống kênh rạch nội đồng, dẫn theo nước mặn xâm nhập sâu cả trên sông và nội đồng. Theo thống kê năm 2015, có trên 50% diện tích ĐBSCL (39.330 km^2) bị nhiễm mặn, gồm địa phận các tỉnh: Long An, Tiền Giang, Bến Tre, Trà Vinh, Sóc Trăng, Bạc Liêu, Cà Mau và Kiên Giang [8].

Mùa khô năm 2019–2020, hạn mặn bắt đầu xuất hiện từ giữa tháng 12/2019, sớm hơn gần 1 tháng so với mùa khô của năm 2015–2016 và sớm hơn 3 tháng so với trung bình các năm. Cụ thể, trên sông Vàm Cỏ nước có độ mặn 4‰ xâm nhập sâu vào đất liền khoảng 100km; trên sông Hậu, sông Cổ Chiên vào sâu gần 70km; trên các sông Cửa Tiểu, Cửa Đại, Cái Lớn vào sâu gần 60 km. Phạm vi xâm nhập mặn trên các sông này đã vào sâu hơn cùng kỳ năm 2016 khoảng 3–11 km. Nếu như đợt hạn mặn năm 2015–2016 được xem là đợt mặn kỷ lục, 100 năm mới lặp lại thì đợt hạn mặn năm 2019–2020 đã phá vỡ mọi kỷ lục được xác lập [8].

Hệ thống xử lý nước thủy cục của các địa phương thường lấy nguồn nước trực tiếp từ các con sông, sau đó xử lý bằng các quy trình xử lý thông thường (keo tụ, đông tụ, lắng, lọc cát) nhưng các phương pháp này dường như không hiệu quả trong việc khử mặn nước lợ. Trong vô số các phương pháp xử lý hiện có, công nghệ màng lọc đã thu hút được sự quan tâm đáng kể như một phương pháp xử lý nước hiệu quả do khả năng lọc tuyệt vời của chúng đối với các ion muối, mang lại chất lượng nước cao hơn [9].

Trong các công nghệ này, màng được sử dụng làm rào chắn ngăn cách giữa các pha khác nhau, vận chuyển có chọn lọc các chất theo những con đường khác nhau bao gồm quá trình đối lưu, khuếch tán phân tử, điện từ trường, nồng độ, áp suất, nhiệt độ. Màng lọc có thể tách nước thành 2 dòng khác nhau gồm dòng thấm (phần chất lỏng đi qua qua màng) và dòng cô đặc (dòng chứa các phân tử muối bị mắc kẹt trong màng). Độ dày màng có thể thay đổi trong phạm vi lớn từ 100 µm đến vài mm. Dựa trên kích thước lỗ, áp suất vận hành và phạm vi ứng dụng, các loại màng thương mại có sẵn được phân loại là vi lọc, siêu lọc, lọc nano và thẩm thấu ngược (RO) [10]. Trong đó RO có thể xử lý hầu hết nước cấp và hiệu quả lọc của nó phụ thuộc trực tiếp vào độ mặn của nguồn nước. Trong trường hợp nước lợ, hiệu suất nước có thể đạt tới 70% nhờ màng RO. Tại thời điểm này, có nhiều loại RO khác nhau và RO dạng cuộn thường được sử dụng trong các ứng dụng thực tế nhờ cấu hình nhỏ gọn, cường độ áp suất cao, ô nhiễm thấp, giảm áp suất trong kênh thẩm thấu và phân cực nồng độ tối thiểu [11]. Thông thường, một hoặc nhiều lõi RO được lắp ráp trong cột điều áp, sau đó được kết nối thông qua ống thu trung tâm.

Dựa trên các vấn đề đã nêu ở trên, chúng tôi giới thiệu hệ thống hiệu suất cao để khử mặn nước lợ ở ĐBSCL, sử dụng màng RO dạng cuộn. Sau quá trình xử lý, hiệu suất nước uống đạt được lên tới 53,7 ÷ 80,6% trong dải áp suất vận hành 8–9 bar. Đầu ra đạt tiêu chuẩn QCVN 01–1:2018/BYT của Việt Nam, hiệu suất thu hồi nước đạt 93,3% ở áp suất vận hành 8 bar.

2. Phương pháp nghiên cứu và thực nghiệm

2.1. Nguyên liệu và dụng cụ

- Nguồn nước thuỷ cục tại hộ gia đình; thùng nhựa 120 lít; muối ăn dạng hạt (Thái Lan); thép tấm tráng kẽm 1,2 mm, thép vuông tráng kẽm 25×25 mm; dây hàn và sơn phủ trang trí.
- Máy hàn Mig, máy khoan cầm tay, máy cắt và dụng cụ cơ khí.

2.2. Chuẩn bị mẫu nước có độ mặn khác nhau

- Mẫu 1‰: Cân 100 g muối hạt hoà tan trong 100 lít nước thuỷ cục, sau đó dùng máy đo độ mặn để đo độ mặn mẫu và tinh chỉnh thêm muối hoặc nước đưa mẫu về độ mặn 1‰.

- Mẫu 3‰, 5‰, 7‰ và 9‰: thao tác tương tự mẫu 1‰ và thay lượng muối bằng 300 g, 500 g, 700 g và 900 g, tương ứng.

2.3. Phương pháp khảo sát độ mặn và áp suất đến hiệu suất xử lý

- Khảo sát độ mặn 1‰ ở các áp suất 2, 4, 6, 8, 10 bar. Ghi lại các giá trị độ dẫn điện EC (sau đó qui đổi sang độ mặn) của dòng nước sạch.
- Tương tự, 3‰, 5‰, 7‰ và 9‰: ở các áp suất 2, 4, 6, 8, 10 bar. Ghi lại các giá trị độ dẫn điện EC của dòng nước sạc.

Xác định mức độ hiệu quả của màng RO trong việc loại bỏ chất gây ô nhiễm bằng cách sử dụng công thức sau:

- Phần trăm hàm lượng muối trong nước xả, Cx (%):

$$\text{Cx (\%)} = \frac{(\text{EC của nước cấp} - \text{EC của nước sạch})}{\text{EC của nước cấp}} \text{x}100 \quad (1)$$

Mức độ loại bỏ muối càng cao, hệ thống hoạt động càng tốt. Khi mức độ loại bỏ muối thấp thì các màng lọc cần được làm sạch hoặc thay thế.

Phần trăm hàm lượng muối thẩm thấu qua màng lọc Cs (%):

$$C_s\ (\%) = (1 - C_x) \quad (2)$$

Đây chính là lượng muối đi qua màng thẩm thấu RO được biểu thị bằng phần trăm. Tỉ lệ phần trăm này tỉ lệ nghịch với phần trăm muối ở dòng xả. Lượng muối thẩm thấu càng thấp, hệ thống càng hoạt động tốt. Khi lượng muối đi qua cao thì có thể màng lọc cần được làm sạch hoặc thay thế.

2.4. Phương pháp khảo sát độ mặn và áp suất đến tỷ lệ sản xuất nước sạch

Từ quá trình khảo sát ở mục 2.3, vừa tiến hành ghi lại các giá trị EC, vừa ghi các giá trị lưu lượng dòng nước sạch và nước xả bằng lưu lượng kế (*flow meter*).

Tỷ lệ sản xuất nước sạch (hiệu suất nước sạch) là lưu lượng nước sạch sau khi thẩm thấu qua màng RO so với lưu lượng nước đầu vào. Lượng nước sạch càng cao nghĩa là hệ thống đang xả ra ít nước xả hơn. Tỉ lệ sản xuất nước sạch được biểu thị bằng phần trăm.

$$\text{Ns}(\%) = \frac{\text{Lưu lượng dòng nước sạch (L/p)}}{\text{Lưu lượng dòng nước cấp (L/p)}} \times 100 \quad (3)$$

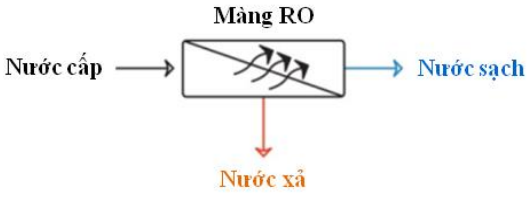
Hệ số cô đặc: Là hệ số nồng độ chất tan trong dòng xả thải có liên quan đến sự phục hồi của hệ thống RO và là một phương trình quan trọng để thiết kế hệ thống RO. Nếu càng sản xuất ra nhiều nước sạch (% sản xuất nước sạch càng cao) thì thu được càng nhiều muối đậm đặc và chất gây ô nhiễm trong dòng nước xả. Điều này có thể dẫn đến khả năng đóng cặn trên bề mặt màng RO khi hệ số cô đặc quá cao so với thiết kế hệ thống và thành phần nước cấp.

Hệ số nồng độ chất tan (cô đặc) trong dòng xả fx:

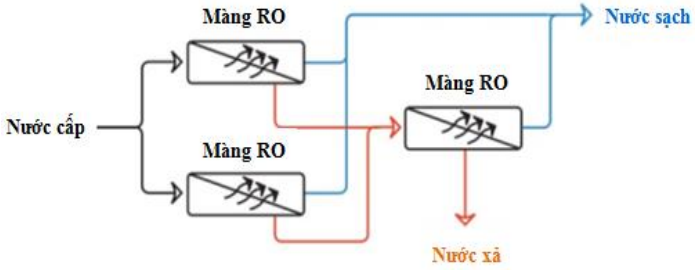
$$\text{fx} = \frac{1}{(1-\text{Ns})} \quad (4)$$

2.5. Phương pháp RO theo giai đoạn, bậc

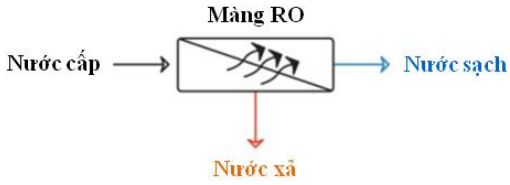
Phương pháp công nghệ RO một giai đoạn, hai giai đoạn, một bậc và hai bậc [12–17] được mô tả theo các sơ đồ hình 1, hình 2, hình 3 và hình 4.



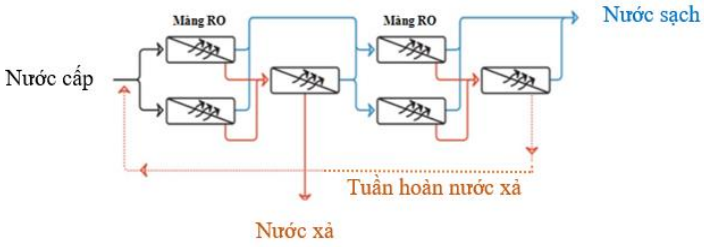
Hình 1. Hệ thống RO một giai đoạn.



Hình 2. Hệ thống RO hai giai đoạn.



Hình 3. Hệ thống RO một bậc.



Hình 4. Hệ thống RO hai bậc.

Trong hệ thống RO một giai đoạn (Hình 1), nước cấp vào đầu cột RO và thoát ra khỏi RO dưới dạng nước sạch và nước xả bỏ; hệ thống hai giai đoạn (Hình 2), nước xả từ giai đoạn đầu tiên (RO thứ nhất) trở thành nước cấp cho giai đoạn thứ hai (RO thứ hai). Nước sạch thu được từ giai đoạn đầu tiên được kết hợp với nước sạch từ giai đoạn thứ hai. RO một bậc (Hình 3) tương tự như hệ thống RO một giai đoạn; RO hai bậc (Hình 4), nước sạch từ bậc đầu tiên (RO thứ nhất) trở thành nước cấp đến bậc thứ hai (RO thứ hai) để tạo ra chất lượng nước sạch cao hơn. Điều này có thể hiểu rằng, khi mong muốn chất lượng nước sạch tốt hơn ta dùng sơ đồ công nghệ bố trí các cột lọc RO theo thuật ngữ "bậc", còn khi mong muốn tăng khả năng tái sử dụng nước xả ta dùng thuật ngữ "giai đoạn". Trường hợp mong muốn cả hai, chúng ta sử dụng kết hợp vừa bậc vừa giai đoạn.

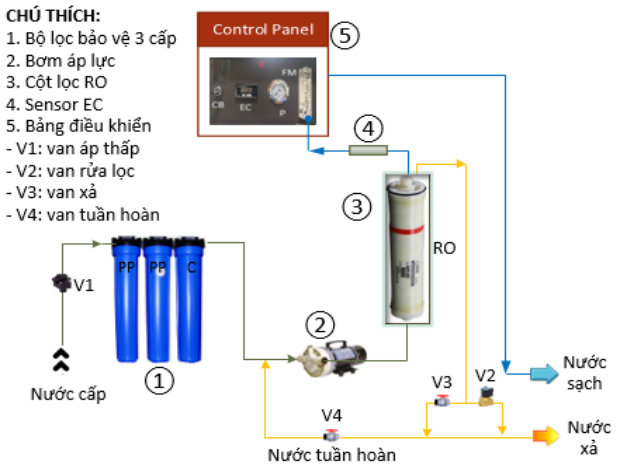
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Xây dựng sơ đồ công nghệ xử lý nước cấp nhiễm mặn

Từ số liệu tổng quan, nguồn nước cấp của các nhà máy nước sau xử lý cấp cho sinh hoạt trong những năm gần đây có độ mặn dao động khoảng 4‰, kéo dài trong mùa khô và đặc thù sinh kế người dân, nhóm nghiên cứu lựa chọn công nghệ một giai đoạn (một bậc) có tuần hoàn nước xả (Hình 5).

Thuyết minh sơ đồ công nghệ:

Nguồn nước nhiễm mặn tại bồn chứa ở hộ gia đình sẽ được đấu nối qua ngõ vào của thiết bị. Nguồn nước được xử lý sơ bộ tại bộ lọc bảo vệ 3 cấp, loại 20inch, bao gồm cột lọc 1: PP 5 micron, cột lọc 2: PP 1 micron nhằm loại bỏ rong rêu, cặn lơ lửng và rỉ sét, sau đó qua cột 3 là than hoạt tính nhằm loại bỏ clo dư. Sau khi ra khỏi bộ lọc bảo vệ, nguồn nước được bơm áp lực chuyển đến cột RO ở áp suất làm việc được tuỳ chỉnh theo độ mặn của nguồn nước.



Hình 5. Sơ đồ công nghệ thiết bị xử lý nước nhiễm mặn.

Bơm sẽ tạo ra dòng nước áp lực cao để thắng trở lực qua lõi lọc và qua màng thẩm thấu RO. Dòng nước sau khi đi qua màng RO là nước tinh khiết/nước sạch được kiểm soát bằng lưu lượng kế và cảm biến EC, dòng còn lại ở trên bề mặt màng (không thẩm thấu) sẽ được đưa ra theo đường nước xả.

Nước sạch sẽ được chứa trong bình tích áp để đưa đến khâu sử dụng. Phần nước xả sẽ được thải trực tiếp ra ngoài, một phần hồi lưu về bơm áp lực để tiếp tục xử lý.

Thiết bị được thiết kế tự động hoạt động, trong trường hợp nguồn nước đầu vào yếu hoặc không có, van áp suất thấp V1 sẽ ngắt tín hiệu điều khiển, toàn bộ thiết bị sẽ dừng hoạt động. Tương tự, khi áp suất làm việc quá cao (trở lực tăng do lõi lọc RO đóng cặn bẩn), van áp cao của bơm sẽ tự động dừng bơm.

Để tăng hiệu quả xử lý và vận hành ổn định, thiết bị cũng được thiết kế có chế độ súc rửa lõi RO tự động sau một thời gian hoạt động hoặc khi máy bắt đầu hoạt động.

3.2 Kết quả tính toán một số thiết bị chính

3.2.1. Tính toán bề mặt thẩm thấu RO

- Xác định tách chất tan và lượng nước thẩm thấu:

Giả thiết: chọn nồng độ mol natri clorua đầu vào là 0,1 mol/kg (~6‰) và áp suất hoạt động là 4,134 × 10^6 Pa (tương ứng 41,34 atm, là giá trị trên đồng hồ đo). Độ dày của màng lọc là l = 10^{-7} m.

Với thẩm thấu ngược của natri clorua trong nước ở 25°C [18]:

$$c_{Bm}D_{Bm} = 2{,}7 \times 10^{-8} \text{ kg/ms}$$
$$D_{Am}K_A = 4{,}2 \times 10^{-14} \text{ m}^2\text{/s}$$

Sử dụng các giá trị số:

$$RT = 2{,}479 \times 103 \text{ J/mol ở } 25^oC$$
$$c_{BP} = 10^3 \text{ kg/m}^3 \text{ và } v_B = 18{,}02 \times 10^{-6} \text{ m}^3\text{/mol}$$

Áp suất thẩm thấu của nguồn nước cấp qua màng có thể được ước tính bằng:

$$\Pi = R(T + 273)\sum M_i \quad (5)$$
$$\text{hoặc } \Pi = 7720\,(T + 273)\sum M_i \quad (6)$$

Trong đó T là nhiệt độ (°C); ΣM_i là tổng số mol hoặc số mol của các ion và các hợp chất không ion (mol/kg hoặc mol/L).

Áp suất thẩm thấu có thể xác định như sau:

$$\Pi = 7720 \times (25 + 273) \times 0{,}2 = 0{,}460 \times 10^6 \text{ Pa}$$

Vì Π = 0 đối với nước tinh khiết, trước tiên, chúng ta có thể giả sử nước tinh khiết ở về phía mặt thẩm thấu nước sạch (*permeate side*), khi đó: $\Delta\Pi = (0 - 0{,}460\times10^6) = -0{,}460\times10^6$ Pa.

Khả năng loại bỏ chất tan, R (hiệu suất) [19]:

$$R = \left[1 - \frac{D_{Am} K_A R T c_{BP}}{c_{Bm} D_{Bm} v_B (\Delta\rho - \Delta\Pi)}\right]^{-1} \quad (7)$$

$$= \left[1 - \frac{(4.2\times10^{-14})(2.479\times10^{3})(10^{3})}{(2.7\times10^{-8})(18.02\times10^{-6})[(-4.134\times10^{6})-(-0.460\times10^{6})]}\right]^{-1} = 0{,}945$$

Khi đó, nồng độ mol natri clorua trong dòng nước sau thẩm thấu (nước sạch) sẽ là:

$$0{,}1 \times (1 - 0{,}945) = 0{,}0055 \text{ mol/kg}$$

Từ phương trình (5), áp suất thẩm thấu ở dòng nước sạch sẽ là:

$$\Pi = 7720\times(25 + 273)\times2\times0{,}0055 = 0{,}0253\times10^{6} \text{ Pa}$$

Khi đó, chênh lệch áp suất thẩm thấu ($\Delta\Pi$) giữa dòng cấp vào và dòng nước sạch sẽ là:

$\Delta\Pi = (0{,}0253 - 0{,}460) \times 10^{6} = -0{,}4347 \times 10^{6}$ Pa

$$R = \left[1 - \frac{(4.2\times10^{-14})(2.479\times10^{3})(10^{3})}{(2.7\times10^{-8})(18.02\times10^{-6})[(-4.134\times10^{6})-(-0.4347\times10^{6})]}\right]^{-1} = 0{,}945$$

Vậy R = 0,945 là đáp ứng.

Thông lượng nước cấp qua màng J_B (kg/m^{2}s) được tính từ phương trình sau [19]:

$$J_B = -\frac{c_{Bm} D_{Bm} v_B}{RTl}(\Delta\rho - \Delta\Pi) \quad (8)$$

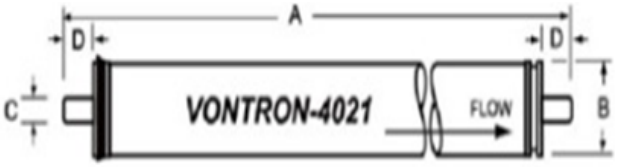
$$= -\frac{(2.7\times10^{-8})(18.02\times10^{-6})[(-4.314\times10^{6})-0.4347\times10^{6})}{}(2.479\times10^{3})(10^{-7}) = 76{,}14 \text{ x } 10^{-4}$$

$$\text{kg/m}^2\text{s} = 27{,}4 \text{ lít/m}^2\text{h}$$

– Xác định diện tích bề mặt thẩm thấu:

Trên thị trường hiện nay, có nhiều loại lõi lọc khác nhau, để phù hợp với đặc tính, quy mô hộ gia đình và nhu cầu sử dụng nước, nhóm nghiên cứu lựa chọn lõi lọc của hãng Vontron, mã hiệu ULP21–4021 với các thông số sau: đường kính lõi RO: 99,7 mm; chiều dài lọc: 480 mm; chiều dài toàn bộ: 533,4 mm (Hình 6); nhiệt độ nguồn nước cấp tối đa: 45^{o}C và pH: 3÷10; áp suất làm việc tối đa 600 psi (4,14 Mpa); và diện tích bề mặt thẩm thấu: 3,3 m^2.

Lượng nước thẩm thấu qua màng lõi lọc ứng với áp suất làm việc tối đa (4,134 Mpa), độ muối 6‰ là: 3,3 m^2×27,4 lít/m^{2}h = 90,42 lít/h.



A, mm(inch)	B, mm(inch)	C, mm(inch)	D, mm(inch)
533,4 (21)	99,7(3,9)	19,1(0,75)	26,7(1,05)

Hình 6. Thông số kỹ thuật lõi lọc ULP21–4021.

3.2.2. Tính toán bơm

Công thức tính công suất bơm dựa trên lưu lượng và cột áp [20]:

$$P = [Q \times H \times \rho]/ [102 \times \eta] \quad (9)$$

Trong đó P là công suất bơm (kW); Q là lưu lượng nước (m^3/s); H là cột áp của bơm (m); ρ là khối lượng riêng của nước (kg/m^3); η là hiệu suất bơm, thường là 0,8.

Chọn lưu lượng trung bình qua bơm Q = 3,5 lít/phút = 5,8×10^{-5} m^3/s, ở cột áp H = 100 m (áp suất làm việc của bơm khi lọc: 10 bar).

Công suất bơm:

$$P = \frac{0.000058 \times 100 \times 1000}{102 \text{ x } 0{,}8} = 0{,}0715 \text{ kw}$$

Chọn hệ số dư tải (an toàn) cho bơm, thường P_{AT} = P(kw)/0,43 = 0,167 kw

Công suất động cơ: $P_{đc}$(kw)= P_{AT}(kw)/η = 0,167/0,9= 0,185 kw

Với η: Hiệu suất motor từ 0,9÷0,95, chọn = 0,9.

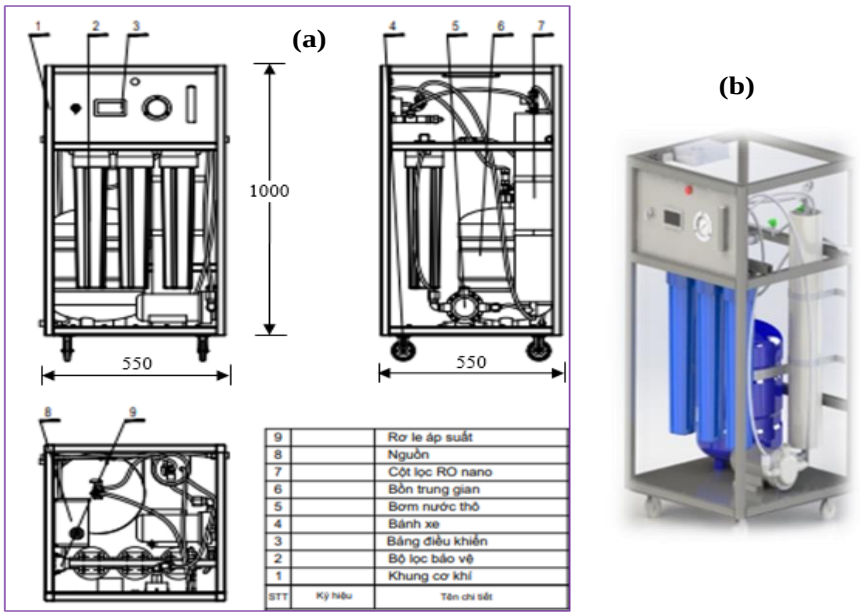
3.2.3 Chọn lõi lọc bảo vệ

Bộ lọc thô 3 cấp, 20 inch để xử lý sơ bộ nước máy đầu nguồn nhằm tách các cặn lơ lửng, rỉ sét, chất hữu cơ và clo dư để bảo vệ màng lọc RO hoạt động ổn định và hiệu quả.

Kích thước cốc lọc: 133x150x560 mm, chất liệu nhựa ABS; kích thước lõi lọc: ϕ70×455 mm, lõi lọc 1,2&3: Polypropylene (PP) 5 micron + 1 micron + than hoạt tính; lưu lượng lọc: 400 L/h; áp suất nước tối đa: 10 bar.

3.2.4 Gia công, chế tạo thiết bị

Dựa trên sơ đồ công nghệ đề xuất (Hình 5), nhóm nghiên cứu tiến hành gia công, lắp đặt thiết bị theo bản vẽ phát thảo (Hình 7a) và sản phẩm chế tạo được mô phỏng 3D trên phần mềm Autocad chuyên dụng (Hình 7b).



Hình 7. (a) Bản vẽ bố trí thiết bị; (b) Bản vẽ 3D thiết bị xử lý.

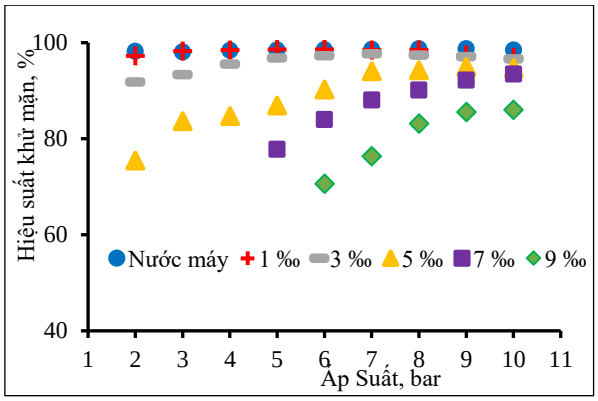
Một số hình ảnh gia nhóm nghiên cứu gia công, lắp đặt thiết bị chế tạo thử nghiệm (Hình 8).

Hình 8. Gia công và lắp đặt thiết bị, (a) gia công khung bao che; (b) lắp đặt; và (c) thiết bị chế tạo.

3.3. Hiệu suất xử lý, tỷ lệ sản xuất nước sạch và thu hồi nước xả

3.3.1 Ảnh hưởng của độ mặn và áp suất đến hiệu suất xử lý

Trong nghiên cứu này, độ mặn ban đầu được chuẩn bị với các nồng độ 1‰, 3‰, 5‰, 7‰, 9‰ và mẫu nước máy tại gia đình với độ mặn là 0,032 ‰ (TDS: 54 ppm). Áp suất làm việc từ 2 bar đến 10 bar. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của độ mặn và áp suất cho thấy, hiệu suất xử lý (khử mặn) của thiết bị tỷ lệ thuận với việc tăng chế độ áp suất P làm việc và tỷ lệ nghịch với độ mặn đầu vào (Hình 9).



Hình 9. Hiệu suất xử lý theo độ mặn và áp suất.

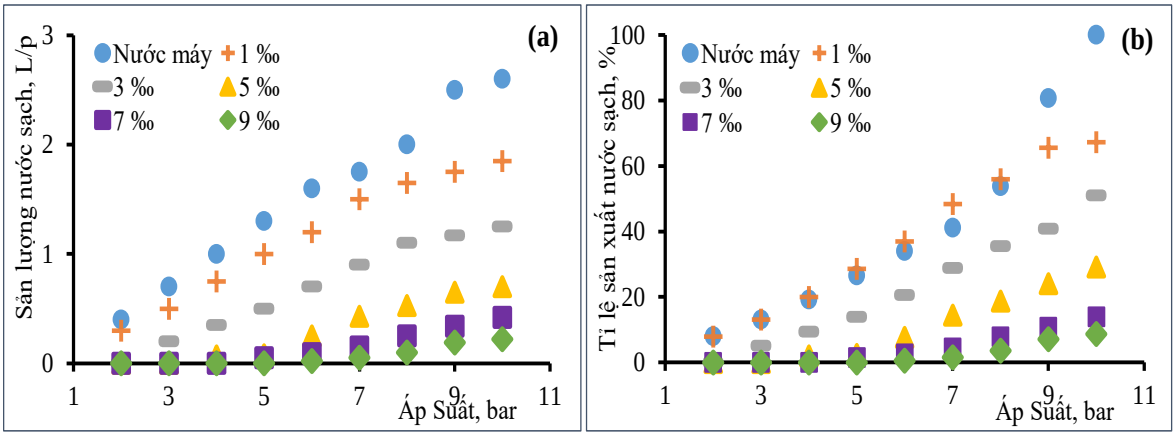
Ở các giá trị độ mặn 0.33‰ (nước máy), 1‰, 3‰ và 5‰ hiệu suất xử lý đạt từ 75÷98,7% tại các áp suất làm việc khac nhau. Khi độ mặn từ 7‰ trở lên, áp suất làm việc yêu cầu tối thiểu là 5 bar, dưới áp suất này quá trình thẩm thấu ngược chưa diễn ra. Bên cạnh đó, tại độ mặn 7‰ và 9‰, kết quả xử lý (TDS >1000 mg/l) chưa đạt yêu cầu qui định theo QCVN 01–1:2018/BYT về chất lượng nước sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt.

Hiện nay, phần lớn các máy lọc nước RO gia đình trên thị trường chỉ lọc được nước thủy cục (nước máy), nước giếng khoan có chỉ số TDS dưới 1000 ppm (độ mặn ~0,43‰). Thiết bị do nhóm nghiên cứu chế tạo thử nghiệm có khả năng hoạt động ổn định với TDS lên đến 7750 ppm, tương ứng độ mặn 5‰.

3.3.2. Ảnh hưởng của độ mặn và áp suất đến tỷ lệ sản xuất nước sạch

Biểu đồ hình 10a–10b cho thấy, sản lượng và tỷ lệ sản xuất nước sạch tỉ lệ thuận với áp suất làm việc và tỉ lệ nghịch với độ mặn.

Sản lượng và tỉ lệ sản xuất nước sạch đạt cao ở các áp từ 8÷10 bar, cụ thể mẫu nước máy đạt 2,0÷2,6 lít/phút, tỉ lệ 53,7÷100%; mẫu 1‰ đạt 1,65÷1,85 lít/phút, 55,9÷67,2%; mẫu 3‰ đạt 1,1÷1,25 lít/phút, 35,4÷51,0%; mẫu 5‰ đạt 0,53÷0,7 lít/phút, 18,7÷29,1%; mẫu 7‰ đạt 0,25÷0,42 lít/phút, 7,8÷14%; và mẫu 9‰ đạt 0,1÷0,22 lít/phút, 3,5÷8,7%.

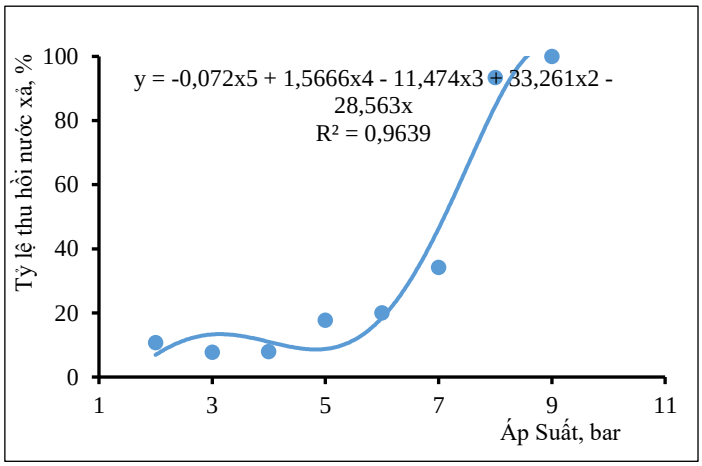


Hình 10. (a) Sản lượng nước sạch theo độ mặn và áp suất; (b) Tỷ lệ sản xuất nước sạch theo độ mặn và áp suất.

Đối với các máy RO gia đình, tỉ lệ sản xuất nước sạch từ nước cấp có chỉ số TDS ≤ 1000 ppm cũng khác nhau theo các công bố, cụ thể từ 25÷37% [21]; 19,4% đến 64% [22]. Nguồn nước nhiễm mặn, tỉ lệ nước sạch so với nước xả bỏ là 1:3,5 [23], nghĩa là để tạo ra 1 lít nước sạch phải loại bỏ khoảng 3,5 lít nước xả, tương ứng 22,2%. Với hệ RO công nghiệp, nguồn nước cấp từ hồ chứa, tỉ lệ này là 49% [24]. Từ đó cho thấy thiết bị của nhóm nghiên cứu có hiệu suất sản xuất nước sạch cao.

3.3.3. Tỷ lệ thu hồi nước xả theo áp suất

Trên sơ đồ công nghệ (Hình 5), thiết bị được thiết kế thêm đường tuần hoàn nước xả sau lọc RO về bơm áp suất để thu hồi một phần nước xả. Trong giới hạn của bài báo này, nghiên cứu chỉ tập trung khảo sát khả năng thu hồi nước xả đối với nguồn nước nước thủy cục. Tỉ lệ thu hồi nước xả theo áp suất là không tuyến tính (Hình 11).



Hình 11. Tỉ lệ thu hồi nước xả theo áp suất với mẫu nước máy.

Từ đồ thị hình 11 cho thấy, hiệu quả thu hồi nước xả tốt nhất ở áp suất ≥ 8 bar, cụ thể tại P = 8 bar đạt 93,3%, tại P = 9 bar đạt 100%, lúc đó không có nước xả bỏ. Bằng phương pháp nội suy, mối quan hệ giữa áp suất làm việc và tỷ lệ thu hồi nước xả được mô tả thông qua tương quan:

$$y = –0,072x^5 + 1,5666x^4 – 11,474x^3 + 33,261x^2 – 28,563x$$

Với hệ số tương quan $R^2 = 0,9639$ có độ tin cậy cao.

Để đạt được yêu cầu chất lượng nước sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt, nhu cầu tiêu thụ nước của hộ gia đình và tính ổn định trong vận hành của thiết bị, thông số độ mặn của nguồn nước và áp suất làm việc của thiết bị được đề xuất tương ứng là ≤ 5‰ và P = 8 bar.

Công suất sản xuất nước sạch của thiết bị đối với nguồn nước thủy cục không nhiễm mặn là 2 lít/phút, tương ứng 120 lít/giờ có thể sử dụng uống trực tiếp. Trường hợp nguồn nước bị nhiễm mặn với độ mặn 5‰, sản lượng có thể đạt 30 lít/giờ, tương ứng 720 lít/ngày.

4. Kết luận

Muối không chỉ làm tăng thêm hương vị của nước uống mà còn cung cấp các lợi ích sức khỏe bao gồm tiêu hóa khỏe mạnh và duy trì huyết áp. Tuy nhiên, lượng muối cao trong nước làm hạn chế đến mục đích sinh hoạt của người dân và ảnh hưởng trong tưới tiêu nông nghiệp.

Giải pháp xử lý độ mặn từ nguồn nước thuỷ cục bằng thiết bị RO hiệu suất cao sẽ góp phần giải quyết nhu cầu, chủ động nguồn nước sạch sinh hoạt hàng ngày và giảm chi phí mua nước của người dân, đặc biệt vào các tháng hạn xâm nhập mặn cao.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: H.Q., H.A.H.; Xử lý số liệu: H.A.H., Đ.M.D.; viết bản thảo bài báo: H.Q., H.A.H.; chỉnh sửa bài báo: H.A.H. Nghiên cứu được thực hiện bởi 03 tác giả và sự đóng góp cho quá trình nghiên cứu để hình thành các kết quả nghiên cứu trong công bố này là như nhau.

Lời cám ơn: Nhóm nghiên cứu xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc tới Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường thành phố HCM đã hỗ trợ tác giả hoàn thành nghiên cứu này.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Knaust, D.; Bromley, R.G. Trace Fossils as Indicators of Sedimentary Environments. *Elsevier*, **2012**, *64*, 1–924, ISBN: 978-0-444-53813-0.
2. World Health Organization (WHO). Manganese in Drinking Water—Background Document for Development of WHO, Guidelines for Drinking–Water Quality, WHO: Geneva, Switzerland, 2011.
3. National Groundwater Association (NGWA). Brackish Groundwater. NGWA: Westervill, OH, USA, 2010.
4. Malmberg, C.G. Electrical conductivity of dilute solutions of 'sea water' from 5 to 120 ˚C. *J. Res. Natl. Bur. Stand. A Phys. Chem.* **1965**, *69*, 39–43.
5. Rusydi, A.F. Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci*. **2018**, *118*, 012019.
6. Jonsson, J.; Smedfors, K.; Nyholm, L.; Thornell, G. Towards chip–based salinity measurements for small submersibles and biologgers. *Int. J. Oceanogr*. **2013**, 529674.
7. Sharma, A.; Kundu, S.S.; Tariq, H.; Kewalramani, N.; Yadav, R.K. Impact of total dissolved solids in drinking water on nutrient utilisation and growth performance of Murrah buffalo calves. *Livest. Sci.* **2017**, *198*, 17–23.
8. Tùng, T.; An, N.; Anh, T. Chống xâm nhập mặn– Bài toán không dễ giải ở Đồng bằng sông Cửu Long. Kinh tế Môi trường. Online Available: https://kinhtemoitruong.vn/chong-xam-nhap-man-bai-toan-khong-de-giai-o-dong-bang-song-cuu-long-67867.html.
9. Nthunya, L.N.; Maifadi, S.; Mamba, B.B.; Verliefde, A.R.; Mhlanga, S.D. Spectroscopic Determination of Water Salinity in Brackish Surface Water in Nandoni Dam, at Vhembe District, Limpopo Province, South Africa. *Water* **2018**, 10, 990. doi:10.3390/w10080990.
10. Wang, L.K.; Hung, Y.T.; Shammas, N.K. Advanced physicochemical treatment technologies. Springer Nature, **2007**, *5*, pp. 710.
11. Ismail, A.F.; Matsuura, T. Progress in transport theory and characterization method of Reverse Osmosis (RO) membrane in past fifty years. *Desalination* **2018**, *434*, 2–11.
12. Saad, A.; Sorour, A.; Hassan, A. Techno-economic evaluation of different seawater reverse osmosis configurations for efficient boron removal. *Desalin. Water Treat.* **2019**, *168*, 65–76.
13. Al-Obaidi, M.A.; Kara-Zaïtri, C.; Mujtaba, I.M. Simulation and optimisation of a two-stage/two-pass reverse osmosis system for improved removal of chlorophenol from wastewater. *J. Water Process Eng.* **2018**, *22*, 131–137.
14. Chan, S.S.; Wu, J.H. Municipal-to-Industrial Water Reuse via Multi-Stage and Multi-Pass Reverse Osmosis Systems: A Step from Water Scarcity towards Sustainable Development. *Water* **2022**, *14(3)*, 362. https://doi.org/10.3390/w14030362.
15. Mustaqimah, M.A.; Alghoul, P. Poovanaesvaran, Assim Fadhil, F.Annisa Acek, K.Sopian. Comparison of One Stage and Two Stage-Brackish Water Reverse Osmosis System: A Simulation study. Computational Methods in Science and Engineering, ISBN: 978-1-61804-174-6, 192-196.
16. Andrew, J.S.; German, A.H.H.; Lokesh, P.; Terri-Ann, B. Energy Recovery in SWRO Desalination: Current Status and New Possibilities. *Front. Sustainable Cities* **2020**, *2*, 9.
17. Park, K.; Burlace, L.; Dhakal, N.; Mudgal, A.; Stewart, N.A.; Davies, P.A. Design, modelling and optimisation of a batch reverse osmosis (RO) desalination system using a free piston for brackish water treatment. *Desalination* **2020**, *494*, 114625.

18. Lonsdale, H.K. Properties of cellulose acetate membranes. In: Desalination by Reverse Osmosis, Chap. 4, U. Merten (ed.), MIT Press, Cambridge, 1996.
19. Wang, L.K.; Hung, Y.T.; Shammas, N.K. Advanced Physicochemical Treatment Processes. Handbook of Environmental Engineering, Totowa, New Jersey: Humana Press, 2006.
20. Dung, L. Máy bơm, công trình thu nước, trạm bơm cấp thoát nước. Nhà xuất bản Xây dựng, 2019.
21. Elfil, H.; Hamed, A.; Hannachi, A. Technical evaluation of a small–scale reverse osmosis desalination unit for domestic water. *Desalination* **2007**, *203*, 319–326.
22. Suresh, I.; Yuansong, W.; Dazhou, H.; Jegetheeswaran, K.; Tharindu, R.; Titus, C.; Hansima, M.A.C.K.; Madhubashini, M.; Jinadasa, K.B.S.N.; Sujithra, K.W.; Rohan. W. Evaluation of Performance of Existing RO Drinking Water Stations in the North Central Province, Sri Lanka. *Membranes* **2021**, *11(6)*, 383.
23. Darafon, A.; Naser, T.B. Recycle of Water Disposal Rejected from Domestic Reverse Osmosis Desalination Unit. The International. *J. Eng. Inf. Technol. Misurata University* **2020**, 45–49.
24. Carla, D.V.; Alexandre, G.; Jane, Z.F.; Andréa, M.B.; Marco, A.S.R. Increasing water recovery rate of membrane hybrid process on the petrochemical wastewater treatment. *Process Safety Environ. Prot.* **2018**, *117*, 152–158.

Trial Design of High-Performance Brackish Desalination System for Households in the Vietnamese Mekong Delta

Quyen Huynh[1], Hoang Anh Huynh[2*], Duong Minh Do[3]

[1,2] Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment; hquyen@hcmunre.edu.vn; hahoang@hcmunre.edu.vn
[3] Binh Duong Center of Natural Resources and Environment Technical – Monitoring; dminhduong@gmail.com

Abstracts: Over the years, water sources of some localities in the Mekong Delta have been contaminated with salt up to 4‰, directly affecting people's daily life, especially in the summer season months. In the content of this article, study team created a test of a high–performance water treatment device capable of meeting QCVN 01–1:2018/BYT standards at the salt concentration of inlet ≤ 6‰ and drinking directly. Clean water rates are 53.7÷80.6% for supply water at working pressure 8–9 bar. For 5‰ brackish water, clean water rates are 18.7÷29.1%. Reject water recovery can reach 93.3% at pressure bar 8 for supply water.

Keywords: RO equipment; Reverse Osmosis; Salinity; Brackish; Supply water.