HỆ THỐNG XỬ LÝ NƯỚC MẶN VÀ NƯỚC LỢ ỨNG DỤNG MÀNG LỌC NANO (NF) ĐỂ CẤP NƯỚC ĂN UỐNG VÙNG VEN BIỂN

Trần Đức Hạ[1], Nguyễn Quốc Hòa[2],Phạm Duy Đông[2], Nguyễn Tiến Toàn[3]

***Tóm tắt**: Bài báo giới thiệu hệ thống xử lý nước mặn và nước lợ có màng lọc NF để cấp nước ăn uống vùng ven biển. Hệ thống được thiết lập trên cơ sở nghiên cứu mô hình thử nghiệm hiện trường lắp đặt tại Cửa Đại (hạ lưu sông Thu Bồn). Kết quả nghiên cứu cho thấy: để thu hồi được nước ăn uống, khi nồng độ muối đầu vào dưới 7,0 ‰ chỉ cần tiền xử lý và qua một bậc lọc NF1; khi nồng độ muối từ 7,0 ‰ - 22 ‰, qua hai bậc NF1 và NF2; khi nồng độ muối đầu vào từ 22 ‰ - 30 ‰ sử dụng các quá trình NF1 và thẩm thấu ngược RO. Hệ thống khử muối có hệ số thu hồi nước sản phẩm cao, tiết kiệm năng lượng so với các hệ thống khử muối bằng RO truyền thống. Hệ thống hoạt động linh động phù hợp với chất lượng nước đầu vào thay đổi.*

***Từ khóa**: Màng lọc nano; khử muối; nước ăn uống.*

***Abstract:** The paper introduces a seawater and brackish water treatment system with NF membrane for drinking water supply in coastal area. The system is established on the basis of nanofiltration pilot testing in field for the Dai estuarine (Thu Bon downstream) seawater. The research results show that for receiving drinking water when the salt concentration in raw water is less than 7.0‰ after pre - treatment steps, the water will be desalted by NF1 only; when the salt concentration is from 7.0 ‰ - 22 ‰, by two steps NF1 and NF2 and when the salt concentration is from 22 ‰ to 30 ‰, by NF1 and RO process. The desalination system has a higher recovery coefficient of water product and more energy saving compared with traditional RO desalination systems. The NF desalination system flexibly operates in accordance with a variation of the raw water quality.*

***Keywords:** Nanomembrane; desanilation; drinking water*

Nhận ngày 10/9/2013, chỉnh sửa ngày 25/9/2013, chấp nhận đăng 30/9/2013

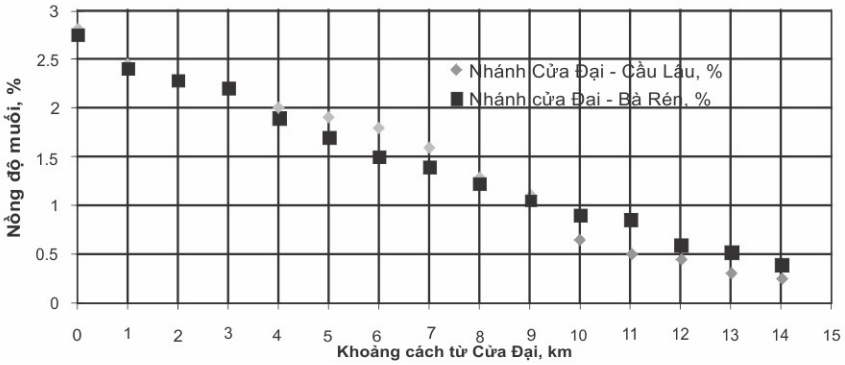
1. Đặt vấn đề

Vùng ven biển và hải đảo nước ta có trên 18 triệu người sinh sống. Tuy nhiên khu vực này hiện nay và tương lai đang gặp nhiều khó khăn trong việc cung cấp nước ngọt [1]. Để giải quyết vấn đề cấp nước sinh hoạt cho dân cư trong nguy cơ mực nước biển dâng do biến đổi khí hậu (BĐKH), cần thiết phải đề cập đến việc khai thác và xử lý nguồn nước vùng ven biển. Chiến lược Quốc gia cấp nước sạch và vệ sinh nông thôn đến năm 2020, đã được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt, nêu rõ cần thử nghiệm và phát triển công nghệ xử lý nước biển và nước lợ thành nước ngọt để cấp nước cho vùng bị nhiễm mặn trong tương lai. Như vậy, tìm kiếm công nghệ và triển khai lắp đặt các công trình, thiết bị xử lý nước biển và nước lợ để cung cấp nước cho các cụm dân cư, đô thị,… ven biển và hải đảo là một nhiệm vụ cấp bách và cần thiết, đặc biệt là trong tình hình BĐKH như hiện nay.

[1]*PGS.TS, Khoa Kỹ thuật Môi trường. Trường Đại học Xây dựng, E-mail: hatd@nuce.edu.vn*
[2]*ThS, Khoa Kỹ thuật Môi trường. Trường Đại học Xây dựng*
[3]*KS, Trường Cao đẳng Xây dựng số 1*

Nguồn nước mặt vùng ven biển chịu tác động mạnh mẽ từ các hoạt động sinh hoạt và sản xuất của con người, chế độ thủy triều và sự thay đổi của nó theo mùa … Khi thủy triều lên, độ mặn của nước tăng lên rõ rệt do xâm nhập mặn của nước, khi triều xuống nước từ sông đổ ra biển làm độ mặn giảm. Vào mùa khô hàm lượng cặn lơ lửng giảm nhưng độ mặn của nước lại tăng lên do xâm nhập mặn. Mùa mưa độ mặn giảm đi nhưng độ đục lại tăng do chịu tác động tăng cường của các dòng chảy bề mặt… Vùng ven bờ, gần các vùng cư dân đông đúc, nước thải công nghiệp và sinh hoạt làm cho nguồn nước bị ô nhiễm. Nước ven biển có giá trị tổng chất rắn lơ lửng cao phần lớn là do nước sông đổ ra, vì các giá trị cực đại thường xuất hiện vào mùa mưa lũ.

Độ mặn trên hạ lưu các sông vùng ven biển thường xuất hiện khi mùa cạn bắt đầu, đặc biệt trong thời gian gần đây do các yếu tố bất thường của thời tiết, lại xuất hiện khá sớm, gây khó khăn cho hoạt động khai thác phục vụ sản xuất và sinh hoạt. Về mùa khô do ảnh hưởng của chế độ triều, độ mặn trong nước vùng cửa sông cao, dao động từ 6 đến 30‰ và sau đó giảm dần về mùa mưa. Hàm lượng muối cũng tăng theo chiều sâu của lớp nước [2]. Trong vùng biển ven bờ, hàm lượng muối thay đổi rõ rệt theo thời gian trong năm phụ thuộc vào điều kiện khí hậu thời tiết và độ sâu lớp nước. Do địa hình thấp và ở trong khu vực nhạy cảm dễ bị tác động của BĐKH và nước biển dâng nên nguy cơ nhiễm mặn nước hạ lưu sông rất cao. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của nước biển đối với hàm lượng muối trong nước hạ lưu 2 nhánh sông Thu Bồn trên chiều dài 14 km cách cửa biển vào mùa cạn tháng 8 năm 2011 được thể hiện trên Hình 1.



Hình 1. *Biến động độ mặn trên các nhánh hạ lưu sông Thu Bồn tháng 8 năm 2011*

Theo kết quả khảo sát, để cấp nước sinh hoạt, trong công nghệ truyền thống người ta loại bỏ các thành phần cặn lở lửng, độ màu, độ đục, vi trùng,… bằng các quá trình keo tụ lắng và lọc kết hợp khử trùng. Tuy nhiên đối với nước biển ven bờ và cửa sông để đảm bảo được nước ăn uống theo QCVN 01:2009/BYT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước ăn uống (độ mặn), còn đòi hỏi giảm hàm lượng muối từ rất cao đến dưới 0,5 ‰ bằng công nghệ tiên tiến hơn. Một trong những giải pháp đó là ứng dụng màng thẩm thấu ngược (RO) hoặc màng lọc Nano (NF) để loại bỏ các thành phần gây ra độ mặn trong nước.

NF là loại màng lọc có kích thước lỗ nhỏ (10^{-7} cm = 10A°), có khả năng loại các phần tử có phân tử lượng từ 200-500 g/mol, như một số chất hữu cơ tan, chì, sắt, niken, thủy ngân (II), các vi khuẩn gây bệnh... NF có thể loại bỏ được khoảng 95% ion kim loại hóa trị 2 và khoảng 40 - 60% các ion hóa trị 1. Áp suất động lực của màng lọc nano thường là <40 atm, thấp hơn so với màng thẩm thấu ngược. Tốc độ lọc của màng lớn, > 0,05$m^3.m^{-2}.ngày^{-1}.bar^{-1}$. Màng lọc nano có giá thành đầu tư và chi phí vận hành bảo trì thấp hơn nhiều so với màng lọc RO. Mặt khác quá trình lọc bằng NF có khả năng đáp ứng tốt các yêu cầu về chất lượng nước ăn uống trong khi lọc bằng RO tách quá triệt để các nguyên tố cần thiết cho hoạt động sống của con người [3]. Bài báo này giới thiệu một trong những kết quả nghiên cứu của đề tài "Nghiên cứu ứng dụng màng lọc nano trong công nghệ xử lý nước biển áp lực thấp thành nước sinh hoạt cho các vùng ven biển và hải đảo Việt Nam" (mã số ĐTĐL.2010T/31) là đề xuất công nghệ ứng dụng màng lọc NF để xử lý nước mặn và nước lợ vùng ven biển và cửa sông có chất lượng nước dễ biến động để cấp nước sinh hoạt.

2. Mục đích và mô hình nghiên cứu

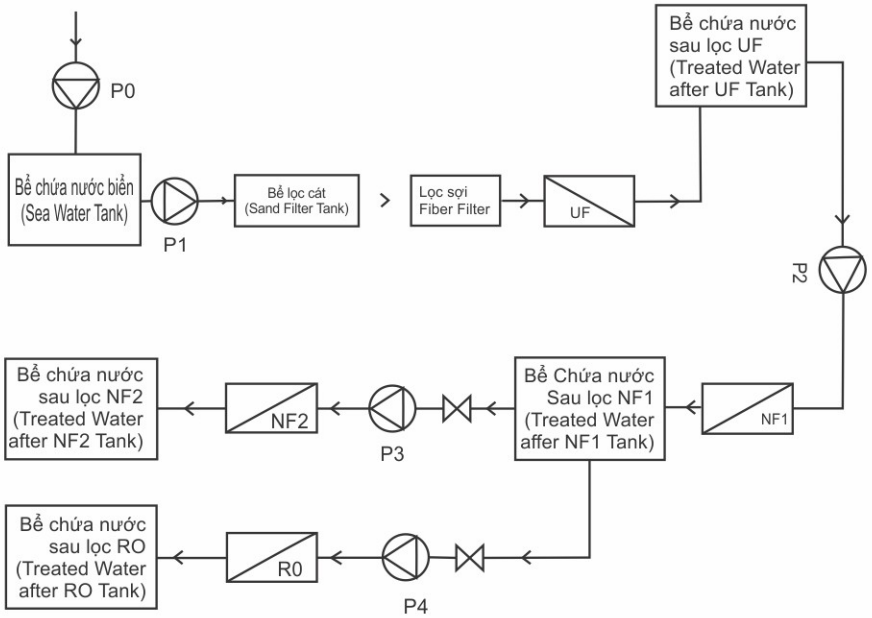
Chất lượng nước biển ven bờ thường bị dao động theo thời gian do các yếu tố như điều kiện khí hậu, thời tiết khu vực, chế độ thủy văn vùng cửa sông, chế độ hải văn vùng biển cũng như các yếu tố khai thác, sử dụng nước đầu nguồn sông,... nên quá trình nghiên cứu cũng phải linh động phù hợp sự biến đổi chất lượng nước đầu vào mô hình nghiên cứu.

Quá trình khử mặn bằng màng lọc được thực hiện qua hai giai đoạn chính là giai đoạn tiền xử lý và khử mặn bằng màng lọc.

Tiền xử lý là quá trình loại bỏ các phần tử có cỡ hạt lớn, cặn lơ lửng, rong rêu, tảo, các thành phần hữu cơ…, những chất có thể gây đóng cặn và làm tắc nghẽn màng lọc, cản trở quá trình khử mặn. Quá trình tiền xử lý có thể là sự kết hợp các quá trình lắng kết hợp hóa chất keo tụ, quá trình lọc cát, lọc sợi, quá trình lọc bằng màng vi lọc (MF) hay siêu lọc (UF)… Sau quá trình tiền xử lý, nước đảm bảo cơ bản các quy định về chất lượng nước sinh hoạt theo QCVN 01:2009/BYT. Tuy nhiên hàm lượng muối còn lớn và có thể còn một số vi sinh vật và virus gây bệnh. Việc lựa chọn quá trình tiền xử lý được dựa vào thành phần nước thô.

Quá trình khử mặn bằng màng lọc là quá trình sử dụng các màng NF, RO với cơ chế như một màng bán thấm để phân tách nước ra khỏi dung dịch. Lựa chọn màng NF hay màng RO chủ yếu phụ thuộc vào nồng độ muối trong nước. Và cũng chính nồng độ muối trong dung dịch quyết định quá trình khử mặn bằng màng NF một bậc hay nhiều hơn, để đảm bảo nước sau xử lý có thể sử dụng được. Các kết quả nghiên cứu trong phòng thí nghiệm của đề tài ĐTĐL.2010T/31 cũng như của Harrison, C.J (2007), J. Palmeri (2009) và những người khác [2,3,5], cho thấy dùng màng lọc NF một bậc có thể xử lý được nước bị nhiễm mặn nồng độ muối dưới 7‰ để thành nước sinh hoạt và ăn uống theo QCVN 01: 2009/BYT, khi nồng độ muối đến 22‰ thì ít nhất phải dùng hệ thống màng lọc nano hai bậc NF1 và NF2 để xử lý nước. Khi hàm lượng muối trong nước thô trên 22‰ thì trong dây chuyền công nghệ xử lý nước bắt buộc phải dùng màng lọc thẩm thấu ngược RO.

Trên cơ sở này, mô hình khử muối ở hiện trường tại biển Cửa Đại (Hội An - Quảng Nam) được lắp đặt theo sơ đồ nêu trên Hình 2.



Hình 2. *Sơ đồ lắp đặt các bộ màng trên mô hình nghiên cứu*

Ghi chú: P0 - Máy bơm nước thô từ biển vào; P1 - Máy bơm nước vào hệ thống tiền xử lý (bể lọc cát, lọc sợi và siêu lọc (UF); P2 - Máy bơm nước vào modul NF1; P3 - Máy bơm nước vào modul NF2; P4 - Máy bơm nước lên modul RO.

Hệ thống xử lý nước mặn và nước lợ gồm 3 giai đoạn như sau:

- *Giai đoạn tiền xử lý.* Tiền xử lý bao gồm các bước lọc cát - vi lọc (MF) - siêu lọc (UF). Mục đích quá trình tiền xử lý là đảm bảo cho các thiết bị khử muối phía sau hoạt động ổn định và có hiệu quả. Ngoài ra quá trình này còn làm trong nước, xử lý các chất hữu cơ tự nhiên dạng không hòa tan ở trong nước thô, góp phần làm giảm COD, số lượng vi sinh vật và chất ô nhiễm khác ở trong nước.

- *Giai đoạn xử lý bậc 2 để cấp nước sinh hoạt.* Trong giai đoạn nước tiếp tục được xử lý để khử muối và một số chất khoáng khác bằng màng lọc NF. Các vi khuẩn cũng được giữ lại trên màng lọc. Nước đủ tiêu chuẩn để cấp cho sinh hoạt. Trong điều kiện hàm lượng muối trong nước thô thấp, qua NF1, nước đầu ra có thể đạt nồng độ muối dưới 0,5%, đảm bảo yêu cầu của nước ăn uống.

- *Giai đoạn xử lý bậc 3 để cấp nước ăn uống.* Khi hàm lượng muối sau quá trình lọc NF1 chưa đảm bảo dưới 0,5% thì nước tiếp tục được lọc qua màng lọc NF2 hoặc RO, phụ thuộc vào nồng độ muối trong nước thô (đầu vào).

Trong trường hợp hàm lượng các chất rắn lơ lửng, các chất ô nhiễm và các chất hữu cơ đầu vào thấp, sau quá trình tiền xử lý, nước có thể đưa trực tiếp lên thiết bị RO để khử muối, đảm bảo yêu cầu chất lượng nước ăn uống theo quy định của QCVN 01:2009/BYT.

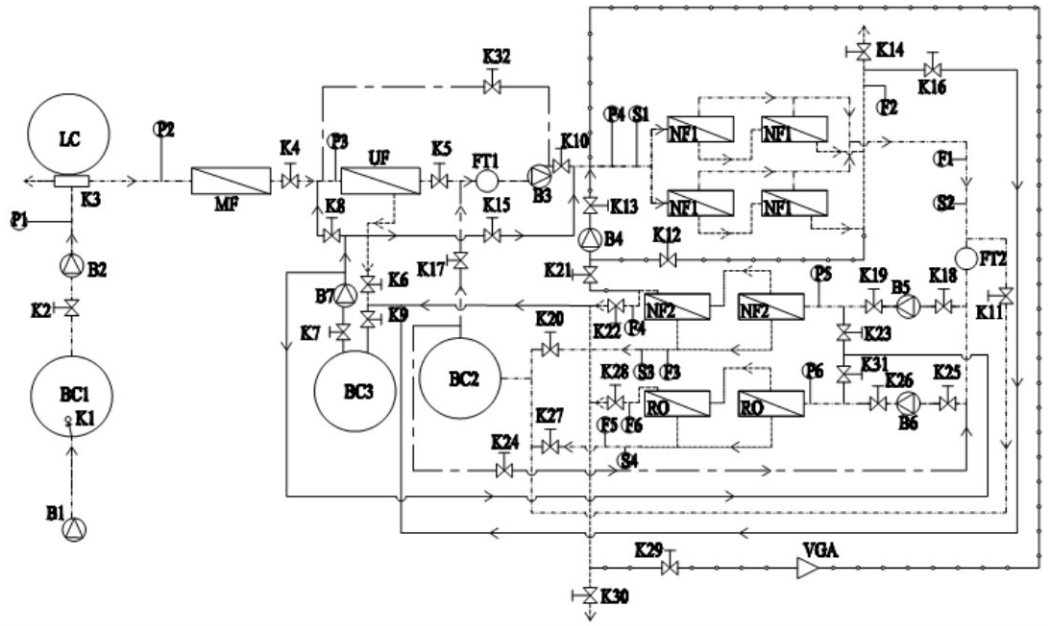
Hình 3. *Mô hình nghiên cứu xử lý nước mặn và nước lợ lắp đặt tại hiện trường*

Quá trình nghiên cứu tại hiện trường trong thời gian 1 năm từ tháng 7 năm 2011 đến tháng 8 năm 2012 xác định được hiệu quả xử lý theo hàm lượng muối, chất rắn lơ lửng (TSS), … theo các bộ màng UF, NF và RO, hiệu quả thu hồi nước sản phẩm đảm bảo QCVN 01:2009/BYT của toàn bộ hệ thống theo các nồng độ muối khác nhau ứng với chế độ thủy văn thay đổi của vùng biển Cửa Đại và hạ lưu sông Thu Bồn.

Từ các kết quả thử nghiệm trên mô hình có thể đề xuất dây chuyền công nghệ khử muối trong nước ven biển và hạ lưu sông với nồng độ muối, TSS và hàm lượng chất hữu cơ tự nhiên thay đổi, xác định các thông số thiết kế và vận hành hệ thống xử lý theo công suất cấp nước và sự thay đổi chất lượng nước thô [1].

3. Hệ thống xử lý nước biển và nước lợ để cấp nước sinh hoạt cho dân cư vùng ven biển

Trên cơ sở nghiên cứu hiện trường, đề tài ĐTĐL.2010T/31 đã thiết lập được hệ thống xử lý nước mặn và nước lợ vùng ven biển và cửa sông theo sơ đồ nêu trên Hình 4.



Hình 4. *Sơ đồ dây chuyền công nghệ xử lý nước mặn và nước lợ để cấp nước sinh hoạt và ăn uống*

Nước thô được qua lưới chắn rác để loại bỏ các tạp chất lơ lửng, rêu tảo, sau đó qua lọc cát để tách các phần tử lơ lửng, huyền phù. Từ bể lọc cát nước được dẫn qua thiết bị lọc MF, để loại bỏ các loại cặn tinh có kích thước 0,1 - 1 µm, các phần tử lơ lửng, huyền phù, chất keo, men, vi khuẩn hoặc chất rắn hòa tan có kích thước lớn hơn kích thước lỗ rỗng của màng,… Bộ lọc MF đóng vai trò như là một bộ phận lọc bảo vệ màng UF. Nước sau lọc MF được đưa sang thiết bị lọc UF, với đặc điểm màng UF có kích thước lỗ rỗng từ 0,001 - 0,1 µm nên cho phép lọc được các chất keo, chất rắn hoà tan có kích thước nhỏ và các phần tử như vi khuẩn, vi rút, carbohydrates.... Các bước lọc cát - MF - UF được coi là quá trình tiền xử lý cho hệ thống. Nước sau khi lọc qua màng UF được khử mặn bằng màng NF một bậc hoặc hai bậc hoặc NF kết hợp RO tùy thuộc vào nồng độ muối đầu vào để có được nước sản phẩm đạt được các yêu cầu cấp cho sinh hoạt hoặc ăn uống.

Các màng NF bậc 1 được thiết kế thành các đơn nguyên, trong từng đơn nguyên cứ 2 màng mắc song song với nhau lại được mắc nối tiếp với màng thứ 3, tức là dòng thải của 2 màng mắc song song sẽ trở thành dòng cấp (đầu vào) cho màng còn lại. Toàn bộ nước sau lọc được chứa vào bồn chứa (sau NF1), một phần nước thải từ màng NF thứ ba mắc nối tiếp sẽ được tuần hoàn. Việc thiết kế như vậy sẽ sử dụng lại được nước thải sau tiền xử lý cũng như tận dụng áp lực dư trong dòng thải nhờ màng NF hoạt động theo nguyên tắc lọc trượt, tiết kiệm được năng lượng cũng như chi phí tiêu thụ điện của toàn bộ hệ thống.

Căn cứ vào sự biến đổi nồng độ muối đầu vào trong nước tại khu vực mà hệ thống lọc NF/RO sẽ được thiết kế linh hoạt để đảm bảo nước sau lọc NF bậc 1 có thể sử dụng cho mục đích sinh hoạt - ăn uống (khi nồng độ muối đầu vào thấp) hoặc có thể tiếp tục được khử muối bằng NF bậc 2 hoặc RO khi nồng độ muối đầu vào lớn. Nước sau NF bậc 1 sẽ được tiếp tục lọc qua hệ NF bậc 2, gồm 2 màng NF hoặc 2 màng RO mắc song song, phần nước thải sẽ được tuần hoàn trở lại bồn chứa nước sau lọc UF nhằm tiết kiệm năng lượng của hệ thống.

Hệ thống xử lý được lắp đặt các sensor nồng độ muối và đồng hồ đo áp lực để tự động hóa quá trình hoạt động khi chất lượng nước thô thay đổi. Chế độ hoạt động của hệ thống, phụ thuộc nồng độ muối đầu vào, được thực hiện như sau:

- Khi nồng độ muối đầu vào dưới 7,0 ‰ chỉ cần tiền xử lý và qua lọc nano một bậc NF1;

- Khi nồng độ muối từ 7,0‰ - 22 ‰ sử dụng màng lọc nano hai bậc NF1 và NF2;

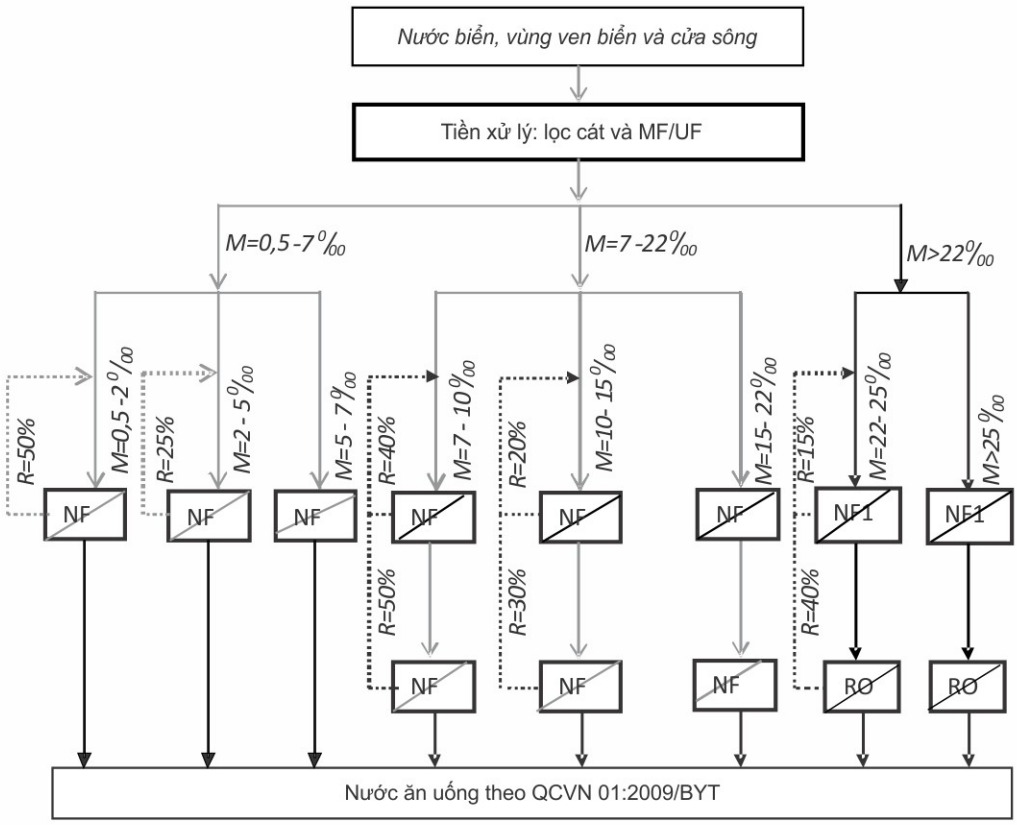
- Khi nồng độ muối đầu vào từ 22 ‰ - 30 ‰ sử dụng lọc nano bậc 1 là NF1 và lọc RO. Bộ màng lọc NF1 đóng vai trò như quá trình ngăn ngừa, chống tắc màng cho bộ RO.

Đại lượng chủ yếu để lựa chọn chế độ vận hành tối ưu của hệ thống là chi phí điện năng. Chi phí này phụ thuộc vào hiệu suất toàn phần của máy bơm. Áp lực dư còn lại sau quá trình lọc trượt qua các bộ màng NF hoặc RO được tận dụng lại để tạo dòng tuần hoàn nước thải. Như vậy, năng lượng bơm nước giảm rõ rệt. Trên cơ sở nghiên cứu mô hình hiện trường kết hợp với tính toán theo nguyên tắc cân bằng vật chất (lượng muối) và cân bằng năng lượng (áp lực bơm và tổn thất áp lực qua modul màng lọc), chế độ hoạt động của hệ thống với hiệu suất sử dụng năng lượng thấp và hệ số thu hồi nước sản phẩm cao được xác lập theo sơ đồ nêu trên Hình 5 sau đây.

Khi nồng độ muối trong nước thô 25÷30 ‰ theo sơ đồ trên tại mô hình thử nghiệm hiện trường thực hiện tuần hoàn nước thải sau NF1 và sau RO theo 2 dải nồng độ như sau:

- Nồng độ 22÷25 ‰ tuần hoàn 15% nước thải sau NF1, 40% nước thải sau RO;

- Nồng độ 25÷30 ‰ không tuần



Hình 5. *Sơ đồ nguyên tắc hoạt động của hệ thống xử lý nước biển và ven biển để cấp nước sinh hoạt và ăn uống*

Ghi chú: M- nồng độ muối nước thô, ‰; R- tỉ lệ tuần hoàn nước thải của modul màng, %. Chế độ vận hành và thông số kỹ thuật của hệ thống công suất nước sản phẩm đạt QCVN 01:2009/BYT là 5-11 m^3/ngày (ứng với mô hình hiện trường) theo các khoảng nồng độ khác nhau được nêu trong Bảng 1 và Bảng 2.

Bảng 1. *Chế độ vận hành của hệ thống xử lý nước khi nồng độ muối nước thô từ 22÷30 ‰*

Thông số	Đầu vào	Lọc cát	MF	UF	NF1	RO
Sơ đồ hoạt động		X	X	X	X	X
Hiệu suất thu hồi qua từng thiết bị, %		100	100	100	10 - 18	50 - 61
Áp suất làm việc của màng, atm		2.0	1.5	1.0	11	30
Lưu lượng làm việc mỗi modul, L/phút		137	167	116	4,6	4,7
Lưu lượng nước thô đầu vào cụm thiết bị, L/phút, khi:						
- nồng độ muối: 22 - 25‰	85	85	85	85	10	8,3
- nồng độ muối: 25 - 30‰	166,7	166,7	166,7	166,7	16,7	8,3
Số lượng thiết bị khi:						
- nồng độ muối: 22 - 25‰		1	1	1	2	2
- nồng độ muối: 25 - 30‰		1	1	1	4	2
Số lượng modul, khi:						
- nồng độ muối: 22 - 25‰		1	1	1	2	2
- nồng độ muối: 25 - 30‰		1	1	1	4	2

Bảng 2. *Thông số kỹ thuật của hệ thống khi nước thô có hàm lượng muối từ 25÷30 ‰*

Thông số	Đầu vào	Lọc cát	MF	UF	NF1	RO	Bơm Tuần hoàn NF1	Bơm Tuần hoàn RO	Cả hệ thống
Hiệu suất thu hồi, %		100	100	100	10 - 18	50 - 61			5 - 12
Áp suất làm việc của màng, atm		2	1,5	1	11	30	0,30	0,30	
Lưu lượng làm việc mỗi modul, L/phút		137	167	116	4,6	4,7			
Lưu lượng nước thô đầu vào của cụm thiết bị, L/phút, khi									
- nồng độ muối: 22÷25‰	85	85	85	85	10	8,3	15,00	6,67	8,3
- nồng độ muối: 25÷30 ‰	166,7	166,7	166,7	166,7	16,7	8,3			8,3
Điện năng tiêu thụ, kwh/m^3, khi									
- nồng độ muối: 22÷25‰		0,33			1,80	0,60	0,01	0,0038	5,47
- nồng độ muối: 25÷30 ‰		0,64			1,92	0,96			10,25

Các bộ màng lọc được rửa ở điều kiện pH cao (pH xấp xỉ 10) của hỗn hợp $Na_5P_3O_{10}$ 2% (V) và Na-EDTA 0,8 % (V) rất có hiệu quả trong việc loại bỏ các cặn như Canxi sunphat, chất hữu cơ có nguồn gốc tự nhiên,…

4. Kết luận

Theo sơ đồ công nghệ và các thiết bị đề xuất có thể thiết kế và chế tạo được các bộ xử lý nước mặn và nước lợ có màng lọc NF với sản phẩm là nước đạt quy chuẩn QCVN 01:2009/BYT - quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước ăn uống, lưu lượng trên Q=5 m^3/ngày phù hợp với việc cấp nước sinh hoạt cho các cụm dân cư nhỏ vùng ven biển, hải đảo,… và tàu thuyền. Khi nước biển nồng độ muối từ 25-30‰, hệ thống khử muối hoạt động theo nguyên tắc này có hệ số thu hồi nước sản phẩm từ 5-12%, tương tự như các hệ thống xử lý bằng RO khác, tuy nhiên tiêu thụ năng lượng thấp (đối với hệ thống xử lý công suất 5 -11 m^3/ngày là 10,25 kwh/m^3). Hệ thống hoạt động linh động phù hợp với chất lượng nước đầu vào thay đổi do các yếu tố khí hậu thời tiết và chế độ thủy văn nguồn nước mặt đồng thời có thể lắp đặt cố định hoặc di động cho các địa điểm cấp nước.

Tài liệu tham khảo

1. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (2011), *Chương trình mục tiêu quốc gia về nước sạch và vệ sinh môi trường nông thôn giai đoạn 2011-2015.*

2. Trần Đức Hạ, Nguyễn Quốc Hòa, Phạm Duy Đông (2013), *Ứng dụng màng lọc NF trong công nghệ xử lý nước mặn và nước lợ để cấp nước sinh hoạt vùng hạ lưu sông Thu Bồn,* Cấp thoát nước Việt Nam, ISSN 1859-3623, số 4(91).

3. Courfia K. Diawara (2008), *Nanofiltration Process Efficiency in Water Desalination,* Separation & Purification Reviews, 37, 302-324.

4. Harrison, C.J., Gouellec, Y.A.L., Cheng, R.C., Childress, A.E (2007). "Bench-Scale Testing of Nanofiltration for Seawater Desalination", *Journal of Environmental Engineering,* 133, 1004-1014.

5. J. Palmeri et al (2009), *Process modeling of brackish and seawater nanofiltration,* Desalination and Water Treatment, 9, 263271.