

Ứng dụng mô hình phân tích dòng vật chất trong quản lý tài nguyên nước ngành công nghiệp gang thép

○ ThS. NGUYỄN TRÀ MY, ThS. CHU THỊ BÌNH

Trường Đại học Xây dựng

ThS. NGUYỄN HOÀNG ANH

Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Tóm tắt

Nghiên cứu đã sử dụng công cụ tính toán, phân tích dòng vật chất để mô phỏng chu trình sử dụng nước, xác định nhu cầu tiêu thụ nước và xả nước thải theo các công đoạn sản xuất chính của nhà máy gang thép. Góp phần quản lý tài nguyên nước, đánh giá hiệu quả của các biện pháp kiểm soát ô nhiễm nước thải công nghiệp hướng tới phát triển bền vững ở Việt Nam. Theo kết quả tính toán và phân tích cân bằng nước cho thấy, trong quá trình sản xuất, nhu cầu sử dụng nước và lượng nước thải phát sinh cho một tấn thép lần lượt là 15,6 m³ và 12,14 m³ (có sử dụng lượng nước làm mát tuần hoàn, tái sử dụng). Từ đó, xác định được tỷ lệ nước thải/nước cấp khoảng 0,78 tuân theo hệ số (0,7 - 0,8) thường được áp dụng trong dự báo lượng nước thải cho các ngành công nghiệp. Cụ thể, quá trình xử lý quặng và quá trình luyện thép, đúc phôi sử dụng lượng nước cấp lớn nhất, đồng thời cũng phát sinh lượng nước thải nhiều nhất và có nguy cơ ô nhiễm cao trong quy trình sản xuất gang thép. Trong khi đó, công đoạn thiêu kết sử dụng lượng nước nhỏ nhất chỉ với 1%.

Đặt vấn đề

Hiện nay, nhu cầu sử dụng nước ngày càng tăng và chất lượng nước suy giảm đang là vấn đề quan trọng đối với sự phát triển bền vững tại các KCN. Phụ thuộc vào loại hình công nghệ, trang thiết bị sản xuất, quy mô công suất khác nhau mà nhu cầu sử dụng nước của các ngành công nghiệp (NCN) là khác nhau. Dự báo, nhu cầu về nước dành cho sản xuất trên toàn cầu dự tính sẽ tăng 4 lần vào năm 2050 [1]. Nhìn chung, khoảng 5-20% lượng nước sử dụng được cung cấp cho các NCN [2]. Bên cạnh đó, sản xuất công nghiệp còn đóng góp đáng kể vào tỷ lệ phát sinh nước thải. Nếu không được kiểm soát chặt chẽ, nước thải công nghiệp có thể sẽ là nguồn ô nhiễm rất độc hại như ô nhiễm kim loại nặng, phenol hay các sản phẩm có nguồn gốc từ dầu mỏ [3]. Do đó, việc phân tích chu trình sử dụng nước cho các NCN là rất cần thiết. Mô hình hóa cân bằng nước được sử dụng như công cụ để tìm hiểu cơ chế dịch chuyển của dòng nước trong các dòng vật chất có ý nghĩa vô cùng quan trọng trong việc đánh giá hiệu quả sử dụng cũng như tạo tiền đề xây dựng các công cụ quản lý nguồn nước, giúp quản lý tài nguyên nước cũng như kiểm soát ô nhiễm nước thải công nghiệp hướng tới phát triển bền vững ở Việt Nam.

Nghiên cứu này ứng dụng mô hình phân tích dòng vật chất (MFA) trong mô phỏng chu trình sử

dụng nước của NCN luyện gang thép, một trong những NCN nặng có nhu cầu sử dụng nước và lượng nước thải phát sinh rất lớn, có nguy cơ gây ô nhiễm môi trường cao. Hiệp hội thép thế giới (World Steel Association) nhận định, nước là vấn đề rất quan trọng đối với một NCN thép bền vững, sau biến đổi khí hậu và chất lượng không khí [4].

Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

Dựa trên các dữ liệu về quy trình công nghệ sản xuất, quản lý nước cấp, nước thải của nhà máy thu thập được từ thực tế vận hành và các báo cáo đánh giá tác động môi trường, báo cáo hoàn thành công trình BVMT đã được phê duyệt của các nhà máy, nghiên cứu này sẽ định lượng và mô hình hóa cụ thể quá trình sử dụng nước và xả nước thải trong các quy trình sản xuất của Nhà máy. Từ đó, xác định các yếu tố ảnh hưởng tới từng quá trình, xây dựng sơ đồ dòng vật chất theo chu trình sử dụng nước.

Đối tượng nghiên cứu

Nhóm nghiên cứu đã lựa chọn một nhà máy sản xuất gang thép điển hình ở Việt Nam với công suất 2 triệu tấn/năm. Nhà máy sử dụng quy trình công nghệ luyện gang, thép lò cao, lò thổi. Công nghệ sản xuất than cốc sử dụng lò luyện cốc thu hồi nhiệt, và làm nguội cốc bằng phương pháp đập cốc khô. Nhiệt thu hồi trong quá trình đập cốc khô được thu hồi cho phát điện.

Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp tính toán cân bằng nước

Phương pháp tính toán cân bằng nước dựa vào định luật bảo toàn vật chất để phân tích sự luân chuyển của dòng nước vào và ra. Sơ đồ mô hình hóa cân bằng nước của Nhà máy nghiên cứu ở Hình 1, được cụ thể bằng công thức (1), (2) như sau:

$$Q_v = Q_r \quad (1)$$

$$\leftrightarrow Q_C + Q_{NL} = Q_T + Q_{SP} + Q_{CTR} + Q_{BH} \quad (2)$$

Trong đó: Q_v -là tổng lượng nước đầu vào (m^3 /tấn thép thành phẩm);

Q_r - là tổng lượng nước đầu ra (m^3 /tấn thép thành phẩm);

Q_C -là lượng nước cấp cho các công đoạn sản xuất (m^3 /tấn thép thành phẩm);

Q_{NL} -là lượng nước trong nguyên liệu cho các quá trình sản xuất (m^3 /tấn thép thành phẩm);

Q_T -là lượng nước thải dẫn vào hệ thống xử lý nước thải của nhà máy (m^3 /tấn thép thành phẩm);

Q_{SP} -là lượng nước trong sản phẩm (m^3 /tấn thép thành phẩm);

Q_{CTR} -là lượng nước trong chất thải rắn phát sinh từ các công đoạn sản xuất (m^3 /tấn thép thành phẩm);

Q_{BH} - là lượng nước bay hơi, thất thoát, rò rỉ (m^3 /tấn thép thành phẩm);

Ở điều kiện lý tưởng, tổng lượng nước đầu vào sẽ bằng tổng lượng nước đầu ra, khi đó hiệu số của các đại lượng dòng vào và dòng ra: $dS = Q_v - Q_r = 0$ (m^3 /tấn thép thành phẩm). Tuy nhiên, các giá trị Q_{SP} , Q_{CTR} , Q_{BH} rất khó xác định nên dS đại diện cho tổng toàn bộ lượng nước đi vào sản phẩm, lượng nước trong chất thải rắn, lượng nước bay hơi, lượng nước thất thoát, rò rỉ và được tính bằng tổng lượng nước cấp trừ đi tổng lượng nước thải, nhằm đánh giá khả năng kiểm soát dòng nước dịch chuyển trong các công đoạn sản xuất.

Hơn nữa, để tiết kiệm lượng nước sử dụng cũng như giảm lưu lượng nước thải xả ra môi trường, giảm nguy cơ gây ô nhiễm và sự cố môi trường, nhà máy tận dụng triệt để lượng nước tuần hoàn tái sử dụng cho các công đoạn sản xuất. Ta có:

$$Q_C = Q_{BS} + Q_{TH} \quad (m^3/\text{tấn thép thành phẩm}) \quad (3)$$

Trong đó: Q_C -là tổng lượng nước sử dụng cho các công đoạn sản xuất (m^3 /tấn thép thành phẩm);

Q_{BS} - là lượng nước cấp bổ sung cho các công đoạn sản xuất (m^3 /tấn thép thành phẩm);

Q_{TH} -là lượng nước tuần hoàn tái sử dụng cho các công đoạn sản xuất (m^3 /tấn thép thành phẩm);

Thông qua công cụ phân tích dòng vật chất (MFA) với phần mềm STAN (subSTance flow ANalysis), tính toán cân bằng nước được thực hiện. Từ đó, sơ đồ

dòng vật chất theo chu trình sử dụng nước sẽ được mô phỏng, lượng hóa được các dòng nước vào và ra theo từng công đoạn sản xuất hiển thị với các mũi tên Sankey, chiều rộng của mũi tên tỷ lệ thuận với giá trị của lượng nước được biểu thị. Vì vậy, dễ dàng nhận ra dòng cân bằng nước có khối lượng lớn nhất, nhỏ nhất trong mô hình giúp đánh giá nhu cầu sử dụng nước và mức độ phát sinh nước thải, làm cơ sở cho các doanh nghiệp thiết lập lập và thực thi kế hoạch bảo tồn nguồn nước, xử lý và tái sử dụng nước thải trong phạm vi doanh nghiệp một cách hiệu quả, hướng tới sản xuất sạch hơn trong nhà máy.

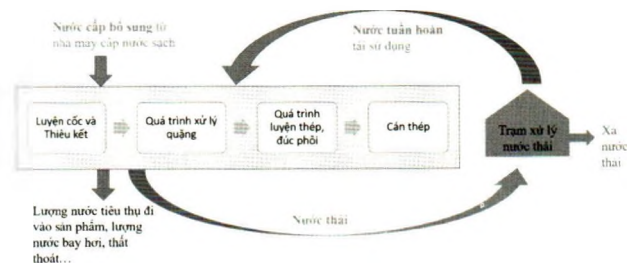
Kết quả nghiên cứu và thảo luận

Sơ đồ cân bằng nước cho các quá trình sản xuất trong nhà máy gang thép

Nước là nguồn nguyên liệu đầu vào thiết yếu để sản xuất gang thép và được sử dụng trong suốt các quy trình sản xuất. Nhóm nghiên cứu đưa ra sơ đồ dây chuyền công nghệ sản xuất gang thép với các công đoạn chính (Hình 1), gồm: Luyện cốc, thiêu kết, quá trình xử lý quặng, quá trình luyện thép, đúc phôi và cán thép. Nước sạch từ nhà máy cấp nước được cung cấp tới các quy trình sản xuất gang, thép. Một phần nước được tiêu thụ trong các quá trình này, nước thải sau khi sử dụng sẽ được xử lý tuần hoàn tái sử dụng, còn lại được đưa về trạm xử lý nước thải trong nhà máy.

Sơ đồ dòng vật chất theo chu trình sử dụng nước

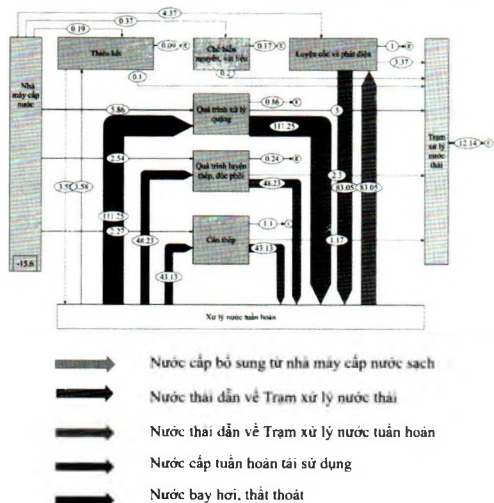
Hình 1. Sơ đồ hóa mô hình cân bằng nước cho các quá trình sản xuất gang thép



Sơ đồ dòng vật chất theo chu trình sử dụng nước được mô phỏng bằng phần mềm STAN (Hình 2).

Kết quả mô phỏng chu trình sử dụng nước và xả nước thải cho các công đoạn sản xuất gang thép của Nhà máy cho thấy, lượng nước tuần hoàn tái sử dụng cho các công đoạn sản xuất chiếm chủ yếu lên tới 95% lượng nước sử dụng. Trong các quy trình sản xuất, thiêu kết là công đoạn có lượng nước cấp bổ sung, lượng nước tuần hoàn tái sử dụng và lượng nước thải phát sinh là thấp nhất. Kết quả tính toán và phân tích cân bằng nước cho thấy tổng lượng nước sử dụng và lượng nước thải phát sinh cho một tấn thép thành phẩm lần lượt là $15,6 m^3$ /tấn thép thành phẩm và $12,14 m^3$ /tấn thép thành phẩm. Từ đó, ta có thể xác định được tỷ lệ nước thải/nước cấp khoảng

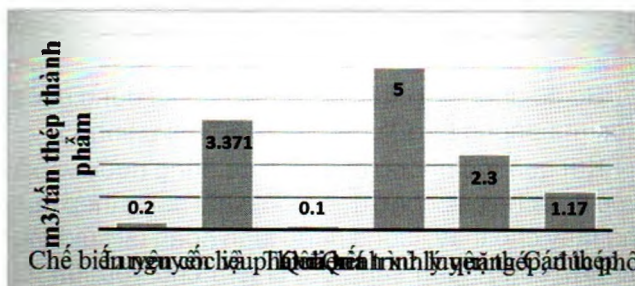
Hình 2. Sơ đồ dòng vật chất theo chu trình sử dụng nước (đơn vị m³/tấn thép thành phẩm)



0,78 tuần theo hệ số (0,7 - 0,8) thường được áp dụng trong dự báo lượng nước thải cho các NCN [5].

Tổng lượng nước sử dụng trên mỗi tấn thép thành phẩm cho các công đoạn sản xuất của nhà máy cho thấy: Quá trình xử lý quặng và quá trình luyện thép đúc phôi tiêu thụ lượng nước lớn chiếm lần lượt 38% và 16% tổng lượng nước sử dụng cho các công đoạn sản xuất. Trong khi đó, thiêu kết là công đoạn có lượng nước sử dụng ít nhất chỉ với 1% tổng lượng nước sử dụng cho các công đoạn sản xuất. Ngoài ra, quá trình luyện cốc và phát điện cũng chiếm tới 28% tổng lượng nước sử dụng. Điều này có thể giải thích, do nhà máy sử dụng lò luyện cốc thu hồi nhiệt để phát điện. Toàn bộ hơi nước sinh ra từ lò hơi đập cốc khô được chuyển đến tổ máy phát điện turbine hơi để phát điện.

Hình 3. Lượng nước thải phát sinh từ các công đoạn sản xuất của nhà máy gang thép



Hình 3 cho thấy, lượng nước thải phát sinh từ quá trình xử lý quặng là nhiều nhất (5 m³/tấn thép thành phẩm), tiếp theo đó là quá trình luyện cốc, phát điện và luyện thép, đúc phôi với lượng nước thải lần lượt là 3,371 m³/tấn thép thành phẩm và 2,3 m³/tấn thép thành phẩm. Lượng nước thải rất lớn từ hai quy trình trên chứa hàm lượng lớn các chất ô nhiễm độc hại như các hợp chất phenol, NH₄, H₂S, HCN [6], kim loại

nặng. Do đó, các công đoạn trên cần được kiểm soát chặt chẽ vấn đề thu gom, xử lý và xả nước thải, đảm bảo không gây ô nhiễm môi trường.

Kết luận và kiến nghị

Để đánh giá được nhu cầu sử dụng nước và xả nước thải sản xuất trong nhà máy gang thép, nghiên cứu đã sử dụng mô hình phân tích dòng vật chất trong cân bằng nước sử dụng cho các công đoạn sản xuất và mô phỏng chu trình sử dụng nước bằng phần mềm STAN. Dựa trên các kết quả tính toán cân bằng nước và các mũi tên Sankey thể hiện trên chu trình sử dụng nước bằng STAN cho thấy tổng lượng nước sử dụng và lượng nước thải phát sinh cho một tấn thép thành phẩm lần lượt là 15,6 m³/tấn thép thành phẩm và 12,14 m³/tấn thép thành phẩm. Các quá trình xử lý quặng và quá trình luyện thép đúc phôi chiếm tỷ lệ sử dụng nước và xả nước thải lớn nhất. Trong khi đó, tổng lượng nước cấp cho quá trình thiêu kết là ít nhất. Kết quả nghiên cứu này có thể hỗ trợ giúp các nhà nghiên cứu, đặc biệt là các doanh nghiệp trong việc đưa ra các chính sách quản lý tài nguyên nước, tiết kiệm nước cũng như giảm thiểu xả thải trong NCN gang thép.

Lời cảm ơn: Tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Trường Đại học Xây dựng (NUCE) cho Đề tài mã số 18-2021/KHXD.

Tài liệu tham khảo

- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 2018. *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water*. UNESCO, Paris;
- World Water Assessment Programme. 2009. *The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World*;
- Gu, Y.F., Xu, J., Keller, A.A., Yuan, D.Z., Li, Y., Zhang, B., Weng, Q.T., Zhang, X.L., Deng, P., Wang, H.T., Li, F.T., 2015. *Calculation of water footprint of the iron and steel industry: a case study in Eastern China*. J. Clean. Prod. 92, 274e281; <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.094>;
- Suvio P, van Hoorn A, Szabo M, et al. *Water management for sustainable steel industry*. Ironmak Steelmak. 2012;39(4):263–269. DOI:10.1179/030192311x13135947813898;
- Phạm Thanh Tuấn, Mai Thanh Dung, Nguyễn Mạnh Khải, Nguyễn Thùy Linh, Nguyễn Như Dũng, Phạm Thị Thúy. *Tính toán cân bằng nước nhằm đánh giá nhu cầu sử dụng nước và lượng nước thải phát sinh theo nhóm ngành nghề trong khu công nghiệp*. Tạp chí Phát triển khoa học và công nghệ, tập 20, số M1-2017. Trang 79-88;
- WorldBankGroup (2020). *"Multilateral Investment Guarantee Agency Environmental Guidelines for Coke Manufacturing"*. ■