



Vai trò của dòng vật chất trong thực hiện kinh tế tuần hoàn

TRẦN CÔNG CHÍNH¹, NGUYỄN THẾ THÔNG², LẠI VĂN MẠNH²,
TẠ ĐỨC BÌNH², NGUYỄN THU TRANG²

¹ Trường Đại học Kinh tế - Đại học Quốc gia Hà Nội

² Viện Chiến lược, Chính sách nông nghiệp và môi trường

Tóm tắt

Dòng vật chất (Material Flow - MF) được phân tích từ ba lĩnh vực chính: tự nhiên, xã hội và kinh tế, với năm thành tố cơ bản (vật chất, dòng chảy, chủ sở hữu, khu vực và thời gian). Các học thuyết về MF không chỉ cung cấp nền tảng lý thuyết quan trọng cho nghiên cứu học thuật mà còn đóng vai trò định hướng cho chính sách quản lý tài nguyên và phát triển bền vững. Phân tích dòng vật chất (Material Flow Analysis - MFA) là công cụ hữu ích để định lượng và trực quan hóa các luồng vận động vật chất trong nền kinh tế, từ khai thác, sản xuất, tiêu dùng đến tái chế và thải bỏ. MFA không chỉ giúp đánh giá mức độ tiêu thụ và hiệu quả tái chế mà còn hỗ trợ hoạch định chính sách môi trường, tài nguyên và phát triển kinh tế tuần hoàn (KTTH). Trong bối cảnh toàn cầu hóa và gia tăng áp lực khai thác tài nguyên, việc ứng dụng MFA và các lý thuyết dòng vật chất vào KTTH là hướng đi tất yếu nhằm duy trì giá trị của vật chất lâu dài, giảm thiểu chất thải, đồng thời tách tăng trưởng kinh tế khỏi tiêu thụ tài nguyên hữu hạn.

Từ khóa: Dòng vật chất, kinh tế tuần hoàn, chu trình tài nguyên, quản lý chất thải.

JEL Classifications: R11, Q56, O13.

1. MỞ ĐẦU

Vật chất (vật liệu) (Material) là đầu vào trong một quá trình sản xuất hoặc chế tạo. Phân tích dòng vật chất (MFA) đề cập đến việc phân tích thông lượng của các chuỗi quy trình bao gồm khai thác hoặc thu hoạch, chuyển đổi hóa học, sản xuất, tiêu thụ, tái chế và thải bỏ vật liệu. MFA cung cấp một cái nhìn phân tích hệ thống về các quy trình và dòng vật chất liên kết với nhau để hỗ trợ thiết kế các biện pháp quản lý theo chiến lược và ưu tiên (Bringezu et al., 2017).

KTTH giữ cho dòng vật chất được sử dụng lâu nhất có thể, khôi phục và tái tạo các sản phẩm, vật liệu ở cuối mỗi vòng sản xuất hay tiêu dùng. KTTH là hệ thống mà nơi vật chất không bao giờ trở thành chất thải. Các sản phẩm và vật liệu sẽ được giữ trong vòng tuần hoàn thông qua quy trình bảo dưỡng, tái sử dụng, sửa chữa, tái sản xuất, tái chế... Ngoài ra, KTTH còn giúp giải quyết các vấn đề khí hậu, và các thách thức toàn cầu khác, như mất đa dạng sinh học, và ô nhiễm bằng cách tách hoạt động kinh tế khỏi việc tiêu thụ các nguồn tài nguyên hữu hạn (MacArthur, 2015a, 2015b).

Mục đích của nền KTTH là duy trì giá trị của sản phẩm, vật liệu và tài nguyên càng lâu càng tốt bằng cách đưa chúng trở lại chu trình sản phẩm sau khi chúng đã kết thúc vòng đời, đồng thời giảm thiểu việc tạo ra chất thải. Các vật chất như sinh khối, kim loại, khoáng chất và nhiên liệu hóa thạch được khai thác từ môi trường để tạo ra sản phẩm hoặc sản xuất năng lượng. Khi vòng đời của chúng kết thúc, sản phẩm

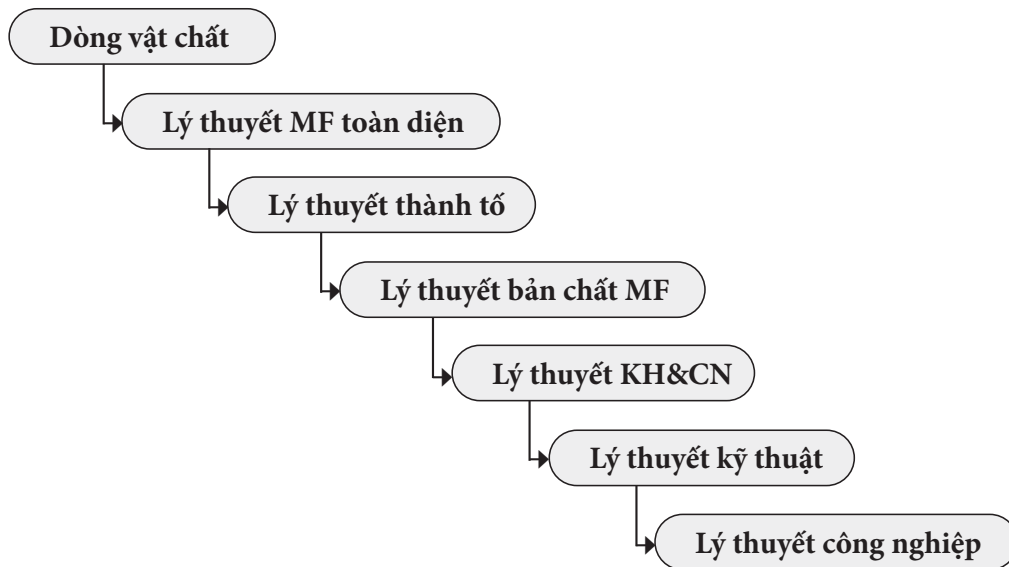
có thể được tái chế, đốt hoặc loại bỏ dưới dạng chất thải còn sót lại. Những dòng vật chất (DVC) đó là một phần thiết yếu, mặc dù không phải là duy nhất, của nền KTTH. Càng ít sản phẩm bị loại bỏ và tái chế càng nhiều thì việc khai thác vật liệu mới càng ít, và do đó càng có lợi cho môi trường (UNECE, 2022).

Để có thể xác định được nền kinh tế đang đi đúng hướng hay không thì việc đánh giá sự vận hành và dòng luân chuyển vật chất trong nền kinh tế là vô cùng cần thiết.

2. DÒNG VẬT CHẤT VÀ LÝ THUYẾT DÒNG VẬT CHẤT

Được đề xuất lần đầu vào năm 1985, khái niệm dòng vật chất đã làm nền tảng cho nhiều nghiên cứu sau đó. Lý thuyết không chỉ gây được tiếng vang lớn trong giới học thuật mà còn thu hút sự quan tâm từ các nhà hoạch định chính sách trong các ngành liên quan (J. Z. Chen, 2009; Swanson, 2008; Xu, 2008). Theo quan điểm về dòng vật chất, nguồn thông tin được hình thành từ sự sắp xếp của các yếu tố vật chất và năng lượng, cùng các mô hình động liên quan đến sự biến đổi trong không gian và thời gian vật lý. Các tương tác này rất phức tạp và đòi hỏi phải có những công cụ trích xuất thông tin hữu ích một cách đơn giản. Những công cụ này có thể bao gồm các dạng trừu tượng hóa, là thước đo của các yếu tố cụ thể, và có thể là sự đại diện cho một số khía cạnh của hệ thống, hoặc là đánh giá về các mô hình hay hành vi quan sát được (Swanson, 2008).

Do các hoạt động của con người, dòng vật chất có



Hình 1. Mối quan hệ giữa bảy lý thuyết cơ bản trong học thuyết dòng vật chất

Nguồn: Xu (2008)

sự vận động và thay đổi tương ứng. Cùng với đó, nhiều thách thức môi trường như biến đổi khí hậu, mất đa dạng sinh học, và sự gia tăng dòng chảy của nitơ (N) cùng phốt pho (P) đã vượt quá giới hạn an toàn hoặc bền vững (Virtanen et al., 2019). Các thách thức trên có liên quan mật thiết đến mức tiêu thụ vật chất và năng lượng, vốn được dự đoán sẽ tiếp tục tăng lên do sự gia tăng dân số toàn cầu và tổng sản phẩm quốc nội trong những thập kỷ tới (Dittrich, 2012). Theo nghiên cứu của Lettenmeier và cộng sự (2014), mức tiêu thụ vật chất toàn cầu bền vững hàng năm được đề xuất ở mức 8 tấn bình quân đầu người. Tuy nhiên, Báo cáo của Bringezu và cộng sự (2017) cho thấy, ở các nước công nghiệp hóa, mức tiêu thụ này đã đạt tới 40-50 tấn mỗi người mỗi năm.

Sự ra đời và sự phát triển của lý thuyết MF được thúc đẩy bởi nhu cầu khách quan của quy trình xã hội hóa sản xuất và toàn cầu hóa kinh tế, đồng thời phản ánh sự điều tiết tự nhiên của sự phát triển xã hội-công nghệ, cũng như năng suất. Dòng vật chất vi mô (Micro material flow), tức dòng vật chất ở quy mô nhỏ, liên quan đến sản xuất nhỏ. Dòng vật chất trung mô (Meso material flow), hay dòng vật chất khu vực, gắn liền với công nghiệp quy mô lớn. Còn dòng vật chất vĩ mô (Macro material flow), hay dòng vật chất lớn/MF, liên quan đến nền kinh tế hiện đại và công nghệ thông tin. Khi lý thuyết MF được phát triển, nó đã khác biệt so với cả lý thuyết truyền thống của Trung Quốc và lý thuyết phân phối, tiếp thị của phương Tây. Ở một khía cạnh nào đó, sự xuất hiện của lý thuyết MF đánh dấu một cuộc cách mạng trong nghiên cứu phân phối và tiếp thị, mang lại ý nghĩa lý thuyết và thực tiễn quan trọng trong việc thúc đẩy sự phát triển kinh tế xã hội (J. Z. Chen, 2009).

Nghiên cứu của Xu (2008) giới thiệu bảy lý thuyết cơ bản trong học thuyết về dòng vật chất, bao gồm (i) Lý thuyết dòng vật chất (Material flow theory), (ii) Lý thuyết MF toàn diện (Comprehensive MF theory), (iii) Lý thuyết thành tố MF (MF element theory), (iv) Lý thuyết bản chất MF (MF nature theory), (v) Lý thuyết khoa học và công nghệ MF (MF science and technology theory), (vi) Lý thuyết kỹ thuật MF (MF engineering theory) và (vii) Lý thuyết công nghiệp MF (MF industry theory) (Hình 1).

Xu (2008) chỉ ra rằng học thuyết về dòng vật chất không chỉ là một thuật ngữ đơn thuần mà còn xây dựng nền tảng lý thuyết, định hướng cho sự phát triển kinh tế liên quan đến vật chất và khoa học công nghệ. Trong học thuyết về dòng vật chất, dòng vật chất là thuật ngữ chung gồm dòng chảy vật chất tự nhiên (Natural Material Flow - NMF), dòng chảy vật chất xã hội (Social Material Flow - SMF) và dòng chảy vật chất kinh tế (Economic Material Flow - EMF), từ đó kết nối giữa dòng chảy vật chất vĩ mô và vi mô. Dòng vật chất không chỉ là hiện tượng kinh tế mà còn là hiện tượng xã hội và tự nhiên. Trong đó, dòng vật chất kinh tế là cốt lõi của lý thuyết MF, và MF xã hội và tự nhiên là cơ sở của MF. Bất kể trong tự nhiên, xã hội hay kinh tế, MF bao gồm năm yếu tố cơ bản: vật chất, dòng chảy, chủ sở hữu, khu vực và thời gian, trong đó vật chất là cốt lõi. Dòng vật chất cũng được chia thành nội tại và ngoại tại theo bản chất. Bản chất nội tại bao gồm vật chất, dòng chảy, chủ sở hữu, khu vực và thời gian. Ngoại tại bao gồm nhà nước, dịch vụ, quản lý, công nghệ và kinh tế. Theo đó, các lý thuyết thành phần sau lý thuyết về dòng vật chất có những vai trò và đóng góp tương ứng trong tổng thể học thuyết dòng vật chất.



3. PHÂN TÍCH DÒNG VẬT CHẤT VÀ MỐI QUAN HỆ VỚI KINH TẾ TUẦN HOÀN

3.1. Phân tích dòng vật chất

Phân tích dòng vật chất (Materials flow analysis - MFA) là phương pháp định lượng cách thức các vật chất cho phép xã hội hiện đại được sử dụng, tái sử dụng và mất đi (Graedel, 2019). Đây là công cụ hữu ích để đo lường tiến độ liên quan đến tổn thất vật liệu, tái chế và các số liệu thống kê có liên quan khác. MFA cũng có thể được tạo ra cho các vật chất hoặc sản phẩm cụ thể trong một nền kinh tế. Các phương pháp tiếp cận MFA hiện đang được liên kết với đánh giá đầu vào-đầu ra môi trường, phát triển kịch bản và đánh giá vòng đời, và những đánh giá ngày càng toàn diện này hứa hẹn sẽ là công cụ trung tâm cho các nghiên cứu phát triển bền vững và kinh tế tuần hoàn.

Phân tích dòng vật chất là một trong những phương pháp luận trung tâm của sinh thái công nghiệp. Thông qua MFA, sự trao đổi chất công nghiệp (dòng chảy của các nguồn lực vào và ra khỏi một thực thể cụ thể của xã hội loài người) có thể được lập bản đồ và định lượng, giống như một kế toán viên xác định và định lượng tiền gửi và rút ra. MFA động (xử lý một khu vực hoặc hệ thống cụ thể theo thời gian) tiến xa hơn; chúng cho phép xác định lượng vật chất đang sử dụng và ngủ đông trong một ngành công nghiệp hoặc xã hội. MFA bao hàm sự đa dạng rộng lớn của hàng hóa, sinh khối, polyme, kim loại, khoáng sản mà các tác động thường liên quan đến các danh mục không được mô tả đầy đủ (ví dụ: "hợp kim sắt và nhôm"), các danh mục gộp (ví dụ: "nhựa") hoặc các dòng tài nguyên hiếm khi hoặc không bao giờ được đo lường (nhiều dòng thải). Chất lượng thông tin liên quan đến MFA có thể khác nhau, từ dữ liệu đến ước tính sơ bộ đến phỏng đoán.

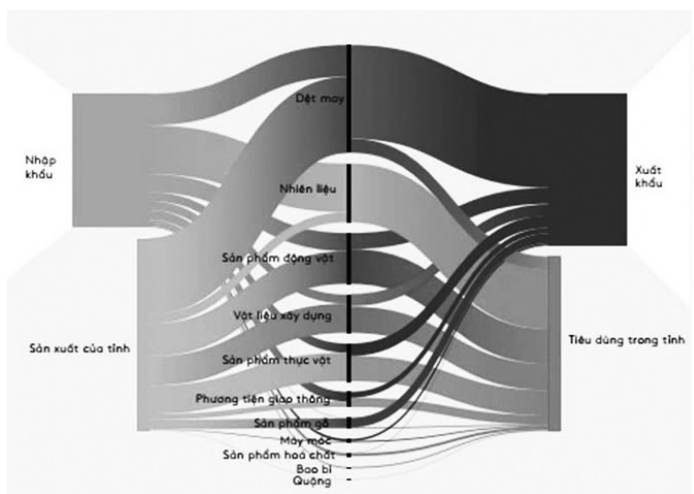
Về nguyên tắc, các phương pháp tiếp cận MFA có thể được áp dụng cho bất kỳ vật chất hoặc sự kết hợp của các vật chất nào. Graedel (2019) đã chỉ ra danh sách các thuộc tính cần thiết để chỉ định MFA. Chúng bao gồm: (i) MFA là nghiên cứu về hệ thống dòng vật chất được thiết kế rõ ràng; (ii) MFA bao gồm mô tả chi tiết về từng dòng trong hệ thống (ví dụ: trạng thái vật lý và hóa học của từng vật liệu), bất kể dòng đó là dòng vật lý hay dòng tiền; (iii) MFA định lượng tất cả các dòng nổi bật trong hệ thống; (iv) Việc trình bày kết quả MFA thường là sơ đồ cũng như số hóa; và (v) Phân tích MFA bao gồm thảo luận (hoặc tốt hơn nữa là phân tích chi tiết) về độ tin cậy của kết quả.

Biểu đồ Sankey, được gọi là "ngôn ngữ hữu hình của sinh thái công nghiệp", thường được sử dụng để trình bày kết quả MFA. Biểu đồ Sankey (Sankey, 1898) là một dạng biểu đồ hệ thống, trong đó độ rộng của các đường trên đồ họa đại diện cho kích thước dòng tài nguyên trong phân tích MFA (Schmidt, 2008). Sự phổ biến của biểu đồ Sankey trong phân tích MFA đã đạt đến mức Schmidt mô tả chúng như ngôn ngữ trực quan của hệ sinh thái công nghiệp (Schmidt, 2008). Biểu đồ này sở hữu khả năng đặc biệt trong việc trình bày nhiều khía cạnh khác nhau của phân tích MFA trên một đồ họa duy nhất. Việc sử dụng màu sắc trong biểu đồ thường giúp làm nổi bật các dòng riêng biệt, cung cấp thông tin bổ sung như giai đoạn vòng đời hoặc minh họa các thuộc tính khác của phân tích. Hiện nay, các phần mềm tạo biểu đồ Sankey đã trở nên phổ biến và dễ dàng tiếp cận.

3.2. Sử dụng MFA trong phân tích chính sách

Từ đầu thế kỷ 21, Phân tích Dòng vật chất (MFA) đã được áp dụng trong nghiên cứu chính sách ở cấp độ vi mô (cấp độ Micro). Một ví dụ tiêu biểu là vào năm 2003, Công ty ô tô Toyota đã công bố sơ đồ MFA với tiêu đề "Khối lượng tài nguyên đầu vào và khối lượng chất thải ra môi trường trong năm tài chính 2002". Nhờ có chu trình MFA được định lượng, Toyota có thể đặt ra các mục tiêu liên quan đến sử dụng vật liệu, giảm phát thải và tăng tỷ lệ sử dụng vật liệu tái chế, đồng thời theo dõi tiến trình qua từng năm (Graedel, 2019).

Mặc dù, các sơ đồ tương tự của các công ty khác chưa được công khai rộng rãi, thông tin về tiến độ sử dụng và mất mát vật chất thường xuất hiện trong báo cáo của doanh nghiệp. Sơ đồ Sankey đóng vai trò đặc biệt trong lĩnh vực chính sách nhờ khả năng truyền tải hiệu quả các đặc điểm quan trọng của phân tích MFA tới các nhà hoạch định chính sách trong chính phủ và ngành công nghiệp (cấp độ



Hình 2. Giá trị sản xuất, tiêu thụ và giá trị hàng hóa, nguyên vật liệu nhập khẩu, xuất khẩu ở Thừa Thiên-Huế



Macro và Meso). Các đặc điểm như cán cân xuất nhập khẩu, hiệu suất tái chế và tổn thất môi trường có thể dễ dàng nhận biết, cung cấp tiền đề cho các cuộc thảo luận chính sách.

Đối với chính sách của chính phủ, kết quả từ MFA mang tính hỗ trợ thông tin thay vì trực tiếp đưa ra quy định. Vai trò của những người thực hành MFA là thu thập, phân tích và truyền đạt thông tin liên quan, thay vì ủng hộ các chính sách cụ thể. Trong thập kỷ qua, MFA đã chứng minh được giá trị của nó như một nền tảng đáng tin cậy để hỗ trợ chính sách. Ví dụ, phân tích dòng vật chất tại Nhật Bản đã cung cấp cơ sở cho luật 3R (giảm thiểu, tái sử dụng, tái chế) (Fischer-Kowalski et al., 2011; Takiguchi & Takemoto, 2008). Tương tự, nghiên cứu về ete polybrom diphenyl ở Vienna giúp định hướng vào sản phẩm hết vòng đời và tái chế chất thải, trong khi các nghiên cứu tại bến cảng Thành phố New York đã xác định dòng chảy của độc tố và các ngành liên quan. Một nghiên cứu ở Oahu, Hawaii đã chỉ ra cách sử dụng tài nguyên chất thải thay cho hàng nhập khẩu, đồng thời giảm lượng rác thải phát sinh.

Ngoài ra, MFA còn được sử dụng để xác định vật chất quan trọng trong chính sách, dựa trên các phân tích về luồng xuất nhập khẩu, hiệu suất tái chế và các yếu tố liên quan ở quy mô quốc gia hoặc khu vực.

3.3 Lý thuyết mô hình dòng vật chất mới trong kinh tế tuần hoàn

Tài nguyên trên thế giới có hạn. Cùng với sự phát triển của toàn cầu hóa kinh tế, nhu cầu về tài nguyên của mỗi quốc gia ngày càng tăng. Chuyển từ nền kinh tế tuyến tính sang nền KTTH của dòng vật chất được coi là giải pháp cho sự phát triển bền vững (MacArthur, 2015b). KTTH hướng đến mục tiêu tối ưu hóa tiện ích và giá trị của vật chất.

Mô hình phát triển kinh tế truyền thống dựa trên lợi ích của con người trong mọi trường hợp và đánh giá giá trị của vật chất theo tiêu chí lợi ích. Trong mô hình này, tài nguyên bị khai thác một cách quá mức (J. Z. Chen, 2009; MacArthur, 2015b; Ness, 2008). Về bản chất, nó là một quá trình tuyến tính và một chiều, bao gồm 'tài nguyên-sản phẩm-xả chất thải'. Mô hình này không xem xét các vấn đề liên quan đến tài nguyên và môi trường. Tương tự, mô hình dòng chảy vật chất truyền thống cũng là một quá trình tuyến tính và mở một chiều, bao gồm sản xuất-sản phẩm lưu thông-tiêu thụ-xả chất thải (J. Z. Chen, 2009). Dòng vật chất này có thể được coi là dòng chảy vi mô, vì nó chỉ là một phần trong tổng thể của MF và thường tập trung vào việc phân phối hàng hóa mà không chú ý đến sự thống nhất của dòng vật chất trong tự nhiên, xã hội và kinh tế. Cả mô hình phát triển kinh tế truyền thống lẫn mô hình dòng vật chất truyền thống đều dẫn đến tình

trạng tiêu thụ quá mức tài nguyên, thỏa mãn nhu cầu tiêu dùng không kiểm soát của con người, gây ra sự xả thải quá tải và cuối cùng dẫn đến cạn kiệt tài nguyên và suy thoái môi trường.

Để giải quyết mâu thuẫn giữa tài nguyên hữu hạn và nhu cầu tiêu dùng ngày càng tăng của con người, cũng như sử dụng hợp lý tài nguyên thiên nhiên để đạt được phát triển bền vững, mô hình phát triển kinh tế tuần hoàn tuân theo mô hình lưu thông sinh thái và dựa trên việc tái chế tài nguyên vật liệu. Mô hình này là một quá trình lưu thông phản hồi khép kín bao gồm "tài nguyên - sản phẩm - tài nguyên tái chế", và mô hình dòng vật chất tương ứng cũng là một quá trình lưu thông phản hồi khép kín bao gồm "tài nguyên - sản xuất - dòng vật chất - tiêu dùng - tài nguyên tái chế", trong đó nhấn mạnh "kiểm soát toàn bộ quá trình". Trong mô hình này, ở mỗi giai đoạn của sản xuất từ thiết kế, sản xuất, dòng vật chất, tiêu dùng đến tái sản xuất, đều xem xét việc thu hồi và tái sử dụng phế thải (Xu, 2008).

Mô hình MF, như một quá trình lưu thông phản hồi khép kín trong đó việc tái sử dụng vật chất trong dòng chảy vật chất trong tự nhiên, xã hội và phân chia kinh tế được thực hiện, sẽ đóng góp vào việc cải thiện hiệu quả kinh tế và môi trường sinh thái. Vì vậy, mô hình MF là một mô hình mới hữu ích cho việc xây dựng xã hội tiết kiệm tài nguyên và thân thiện với môi trường, một phương pháp hiệu quả để phát triển kinh tế tuần hoàn, thực hiện ý tưởng phát triển khoa học và đạt được sự phát triển bền vững (Chen, 2009).

4. KẾT LUẬN

Trong bối cảnh hiện nay, việc quản lý dòng vật chất đóng vai trò then chốt trong thúc đẩy phát triển bền vững và chuyển đổi sang nền kinh tế tuần hoàn. Dòng vật chất đóng vai trò trung tâm trong việc kết nối giữa sản xuất, tiêu dùng và quản lý tài nguyên, đồng thời phản ánh rõ nét mối quan hệ giữa kinh tế, xã hội và tự nhiên. Việc nghiên cứu và áp dụng phân tích dòng vật chất (MFA) giúp nhận diện rõ ràng hơn các luồng vật chất trong nền kinh tế, từ đó mở ra hướng đi hiệu quả cho quản lý tài nguyên và giảm thiểu tác động môi trường.

Phân tích dòng vật chất (MFA) cung cấp công cụ khoa học và thực tiễn để đo lường, đánh giá và tối ưu hóa hiệu quả sử dụng các nguồn tài nguyên, giảm thiểu ô nhiễm và nâng cao khả năng tái chế. Thông qua các phân tích hệ thống như biểu đồ Sankey và các mô hình về dòng vật chất, chúng ta có thể hình dung rõ hơn về quá trình vận động của vật chất trong các hoạt động của con người, từ sản xuất đến tiêu dùng và cuối cùng là xử lý chất thải. Kết quả của các phân tích này giúp các nhà hoạch định chính sách, doanh nghiệp và cộng đồng có thể đưa ra các biện pháp thích hợp nhằm giảm tổn thất, thúc đẩy hành vi tiêu dùng bền vững và



đảm bảo cân bằng sinh thái. Do đó, ứng dụng rộng rãi các phương pháp MFA sẽ góp phần xây dựng các chiến lược quản lý tài nguyên hiệu quả, phù hợp với mục tiêu phát triển dài hạn, hướng tới một tương lai kinh tế xanh, sạch và bền vững.

Trong bối cảnh toàn cầu hóa và sự gia tăng mạnh mẽ nhu cầu tiêu thụ, việc quản lý dòng vật chất theo hướng kinh tế tuần hoàn là một yêu cầu tất yếu. Khác với mô hình kinh tế tuyến tính truyền thống, KTTH hướng tới việc giữ vật chất trong vòng luân chuyển lâu nhất có thể, giảm thiểu chất thải và khai thác tài nguyên mới. Sự kết hợp giữa MFA và KTTH cho phép đưa ra những giải pháp tối ưu nhằm cân bằng giữa phát triển kinh tế, bảo vệ môi trường và duy trì nguồn lực cho các thế hệ sau.

Trong quá trình chuyển đổi từ mô hình phát triển kinh tế tuyến tính sang mô hình kinh tế tuần hoàn, vai trò của dòng vật chất càng trở nên rõ nét hơn. Các mô hình phát triển cũ dựa trên nguyên tắc khai thác quá mức và tiêu thụ không kiểm soát, dẫn đến cạn kiệt tài nguyên và ô nhiễm môi trường ngày càng gia tăng. Trong khi đó, các mô hình mới như mô hình kinh tế tuần hoàn tập trung vào việc tối ưu hóa vòng đời của vật chất, thúc đẩy tái chế, tái sử dụng và giảm thiểu chất thải, qua đó bảo vệ các nguồn tài nguyên hữu hạn của trái đất. Chính vì vậy, chuyển đổi sang mô hình kinh tế tuần hoàn dựa trên phân tích dòng vật chất chính là hướng đi tất yếu của các quốc gia trong kỷ nguyên mới, để hướng tới một nền kinh tế phát triển hài hòa giữa con người và tự nhiên, vì lợi ích của thế hệ hiện tại và tương lai.

Lời cảm ơn: Bài viết là sản phẩm của Đề tài KH&CN cấp Bộ “Nghiên cứu cơ sở khoa học, đề xuất bộ chỉ số giám sát dòng vật chất trong thực hiện KTTH tại Việt Nam. Áp dụng thử nghiệm trong lĩnh vực dệt may và quản lý chất thải rắn” Mã số: TNMT.ĐL.2024.10 do Viện Chiến lược, Chính sách nông nghiệp và môi trường chủ trì thực hiện■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bringezu, S., Schütz, H., Saurat, M., Moll, S., Acosta-Fernández, J., & Steger, S. (2017). Europe's resource use: Basic trends, global and sectoral patterns and environmental and socioeconomic impacts. In *Sustainable resource management* (pp. 52–154). Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781351279284-3/europe-resource-use-stefan-bringezu-helmut-sch%C3%BCtz-mathieu-saurat-stephan-moll-jos%C3%A9-acosta-fern%C3%A1ndez-s%C3%B6ren-steger>.
2. Chen, J. Z. (2009). Material flow and circular economy. *Systems Research and Behavioral Science*, 26(2), 269–278. <https://doi.org/10.1002/sres.968>.

3. Dittrich, M. (2012). *Green Economies Around the World?: Implications of Resource Use for Development and the Environment*. Sustainable Europe Research Inst.(SERI).
4. Fischer-Kowalski, M., Krausmann, F., Giljum, S., Lutter, S., Mayer, A., Bringezu, S., Moriguchi, Y., Schütz, H., Schandl, H., & Weisz, H. (2011). Methodology and indicators of economy-wide material flow accounting: State of the art and reliability across sources. *Journal of Industrial Ecology*, 15(6), 855–876.
5. Graedel, T. E. (2019). Material Flow Analysis from Origin to Evolution. *Environmental Science & Technology*, 53(21), 12188–12196. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03413>.
6. Lettenmeier, M., Liedtke, C., & Rohn, H. (2014). Eight tons of material footprint—Suggestion for a resource cap for household consumption in Finland. *Resources*, 3(3), 488–515.
7. MacArthur, E. (2015a). Circularity indicators: An approach to measuring circularity. *Methodology*, 5–10.
8. MacArthur, E. (2015b). *Delivering the circular economy: A toolkit for policymakers*. Ellen MacArthur Foundation.
9. Ness, D. (2008). Sustainable urban infrastructure in China: Towards a Factor 10 improvement in resource productivity through integrated infrastructure systems. *The International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 15(4), 288–301.
10. Sankey, M. (1898). Introductory note on the thermal efficiency of steam-engines. *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 134, 278–283.
11. Schmidt, M. (2008). The Sankey Diagram in Energy and Material Flow Management: Part II: Methodology and Current Applications. *Journal of Industrial Ecology*, 12(2), 173–185. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00015.x>.
12. Swanson, G. A. (2008). Material flow, material information, and the analytics of integrative enterprise information systems. *Enterprise Information Systems*, 2(1), 21–31. <https://doi.org/10.1080/17517570701846570>.
13. Takiguchi, H., & Takemoto, K. (2008). Japanese 3R Policies Based on Material Flow Analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 12(5–6), 792–798. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00093.x>.
14. UNECE. (2022). MFA for circular economy – European Union experience.
15. Virtanen, M., Mäskinen, K., Uusitalo, V., Syvänen, J., & Cura, K. (2019). Regional material flow tools to promote circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1020–1025.
16. Xu, S. (2008). The concept and theory of material flow. *Information Systems Frontiers*, 10(5), 601–609. <https://doi.org/10.1007/s10796-008-9113-4>.