

KHAI THÁC PHÂN TÍCH DÒNG VẬT CHẤT (MFA) NHƯ MỘT CÔNG CỤ QUẢN LÝ DỮ LIỆU CHẤT THẢI NGUY HẠI TẠI VIỆT NAM

Trịnh Bảo Khánh^a, Hoàng Minh Giang^{a,*}, Đỗ Hồng Anh^a, Trần Thị Việt Nga^a

^aKhoa Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, 55 Giải Phóng, phường Bạch Mai, TP. Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 06/5/2025, Sửa xong 02/6/2025, Chấp nhận đăng 02/10/2025

Tóm tắt

Quy hoạch bảo vệ môi trường quốc gia đã định hướng phát triển các khu xử lý chất thải tập trung. Đặc biệt với chất thải nguy hại (CTNH), cơ quan quản lý cần kiểm soát chặt chẽ thông tin vận chuyển, xử lý liên vùng. Tuy nhiên, công tác quản lý CTNH cấp tỉnh vẫn còn rời rạc, thiếu minh bạch và thiếu hệ thống dữ liệu hiệu quả. Khoảng trống này cho thấy nhu cầu về công cụ hỗ trợ giám sát và hoạch định chính sách. Nghiên cứu này ứng dụng phương pháp Phân tích Dòng Vật chất (Material Flow Analysis – MFA) nhằm định lượng nguồn phát sinh và mô phỏng dòng chảy của CTNH trong ranh giới quản lý cấp tỉnh. Mục tiêu là xác định các điểm nghẽn về hạ tầng xử lý, phối hợp dữ liệu và hỗ trợ ra quyết định. Hai tỉnh là Thái Nguyên và Vĩnh Phúc được lựa chọn làm nghiên cứu điển hình, với dữ liệu thứ cấp từ các cơ quan quản lý giai đoạn 2021–2022. Dữ liệu được xử lý trên phần mềm Microsoft Excel và phân tích bằng phần mềm Stan2. Kết quả cho thấy, hơn 88% khối lượng CTNH không có thông tin xử lý, dù địa phương có công nghệ phù hợp. MFA cho thấy tiềm năng lớn trong việc cải thiện năng lực giám sát và hỗ trợ quản lý phù hợp với định hướng quốc gia.

Từ khóa: chất thải nguy hại; quản lý chất thải; phân tích dòng vật chất (MFA); Việt Nam; dữ liệu chất thải nguy hại.

LEVERAGING MATERIAL FLOW ANALYSIS (MFA) AS A TOOL FOR HAZARDOUS WASTE DATA MANAGEMENT IN VIET NAM

Abstract

The National Environmental Protection Plan has outlined the development of centralized waste treatment zones. In particular, for hazardous waste (HW), regulatory agencies are required to closely monitor inter-provincial transportation and treatment activities. However, hazardous waste management at the provincial level remains fragmented, lacks transparency, and is hindered by the absence of an effective data system. This gap highlights the need for tools that support monitoring and policy-making. This study applies the Material Flow Analysis (MFA) method to quantify sources of generation and simulate the flow of HW within provincial administrative boundaries. The objective is to identify bottlenecks in treatment infrastructure, improve data coordination, and support decision-making. Thai Nguyen and Vinh Phuc provinces were selected as case studies, using secondary data collected from provincial authorities during 2021–2022. The data were processed using Microsoft Excel and analyzed with the Stan2 software. Results indicate that over 88% of HW volumes lack treatment information, despite the availability of suitable technologies locally. MFA demonstrates significant potential to enhance monitoring capacity and support management efforts in line with national policy directions.

Keywords: hazardous waste; waste management; material flow analysis (MFA); Viet Nam; hazardous waste data.

© 2025 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

1. Giới thiệu

CTNH là một trong những loại chất thải có khả năng gây tổn hại nghiêm trọng đến môi trường tự nhiên, hệ sinh thái và sức khỏe con người nếu không được quản lý đúng cách. Theo Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), mỗi năm có hơn 16 tỷ kim tiêm y tế bị thải bỏ trên toàn cầu, trong đó nhiều loại CTNH không được xử lý an toàn, dẫn đến nguy cơ lan truyền dịch bệnh, ô nhiễm đất, nước và không khí [1]. CTNH được định nghĩa là chất thải bao gồm những loại pin, thiết bị điện tử, chất thải y tế, hóa chất công nghiệp và dầu thải với đặc tính dễ cháy, ăn mòn, phản ứng mạnh hoặc chứa các hợp chất độc hại lâu dài [2, 3].

Ở nhiều quốc gia công nghiệp phát triển, quản lý chất thải nguy hại (CTNH) đã được thể chế hóa trong chiến lược môi trường và phát triển bền vững. Nhật Bản đã triển khai Hệ thống kiểm soát dòng

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: gianghm@huce.edu.vn (Giang, H. M.)

vật chất từ năm 2000 nhằm thúc đẩy kinh tế tuần hoàn [4]. Các nước phát triển đã xây dựng hệ thống dữ liệu quốc gia tích hợp công nghệ cảm biến, IoT và phần mềm phân tích để theo dõi toàn bộ chu trình quản lý chất thải [5, 6]. Hoa Kỳ sử dụng nền tảng RCRAInfo để quản lý hồ sơ CTNH từ phát sinh đến xử lý cuối cùng [7]. MFA là một trong những công cụ hiệu quả trong quản lý chất thải và tài nguyên, cho phép mô hình hóa, định lượng và trực quan hóa dòng vật chất để nhận diện điểm nghẽn, thất thoát và nhu cầu can thiệp chính sách [8, 9]. MFA đã được áp dụng rộng rãi ở châu Âu, Mỹ và nhiều nước châu Á: Na Uy dùng MFA để kiểm soát chất thải nhựa từ hoạt động đánh bắt thủy sản [10], Ghana áp dụng MFA để xây dựng hạ tầng xử lý chất thải điện tử bền vững [11], Áo và Serbia dùng MFA làm công cụ hỗ trợ ra quyết định trong giai đoạn chuyển đổi hệ thống quản lý chất thải sang mô hình kinh tế tuần hoàn [12–14], Thái Lan giảm 30% lượng CTNH thông qua tái cấu trúc sản xuất và khuyến khích tái chế [15, 16]. MFA cũng được tích hợp với công nghệ số để tăng tính minh bạch và lượng hóa dòng chất thải. Ở Ấn Độ, MFA được kết hợp với hệ thống thông tin địa lý (GIS) trong quản lý chất thải đô thị và một số nghiên cứu đã đề xuất mở rộng sang công nghệ blockchain [17, 18].

Tại Việt Nam, MFA mới chỉ xuất hiện trong nghiên cứu học thuật và dự án hỗ trợ kỹ thuật của các tổ chức quốc tế như GIZ, UNIDO, chủ yếu áp dụng ở quy mô cơ sở hoặc nhà máy [19–21]. Phương pháp này chưa được áp dụng phổ biến trong quản lý CTNH [22–24]. Quy định yêu cầu báo cáo dữ liệu CTNH đã có nhưng còn nhiều lỗ hổng: báo cáo mang tính liệt kê trên giấy, thiếu kết nối giữa các cơ quan [24, 25]. Ở các tỉnh công nghiệp phát triển nhanh như Thái Nguyên và Vĩnh Phúc, áp lực CTNH ngày càng lớn. Vĩnh Phúc là trung tâm lắp ráp ô tô và điện tử với 9 khu công nghiệp (KCN) và lượng chất thải nguy hại (CTNH) phát sinh hàng năm lên tới hàng nghìn tấn [26]. Trong khi đó, Thái Nguyên có hơn 5 KCN lớn đang hoạt động cùng hàng trăm doanh nghiệp vệ tinh phục vụ tổ hợp Samsung [27]. Nhiều dòng CTNH vẫn phải vận chuyển liên tỉnh đến các cơ sở đủ điều kiện xử lý, làm gia tăng chi phí và rủi ro phát tán ô nhiễm.

Quyết định số 611/QĐ-TTg đã phê duyệt Quy hoạch bảo vệ môi trường quốc gia, đồng thời định hướng di dời các cơ sở xử lý CTNH về các khu xử lý chất thải tập trung cấp quốc gia và cấp vùng [28]. Thực tiễn này đặt ra yêu cầu cho các cơ quan quản lý nhà nước về việc kiểm soát hoạt động thu gom và xử lý CTNH liên vùng, liên tỉnh. Kết quả khảo sát tại các tỉnh phía Nam Việt Nam cho thấy cơ quan quản lý cần nắm bắt thông tin tổng quan về tình hình phát sinh, vận chuyển và xử lý CTNH trên địa bàn [24]. Do đó, cần xây dựng phương pháp hỗ trợ quản lý nhằm cung cấp bức tranh tổng quan về các dòng chất thải và mức độ kiểm soát. Đặc biệt, việc theo dõi chính xác dòng CTNH vận chuyển từ địa phương khác về xử lý tại các doanh nghiệp trong tỉnh là hết sức quan trọng và phải được thực hiện phù hợp với Quy hoạch bảo vệ môi trường quốc gia.

Nghiên cứu này áp dụng phương pháp Phân tích Dòng Vật chất (Material Flow Analysis – MFA) để đánh giá dòng chảy chất thải nguy hại (CTNH) tại hai tỉnh Thái Nguyên và Vĩnh Phúc. Các mục tiêu chính gồm: (i) lượng hóa dòng phát sinh, thu gom, xử lý và thất thoát CTNH; (ii) nhận diện điểm nghẽn về quản lý và hạ tầng xử lý; (iii) đề xuất tích hợp MFA với nền tảng dữ liệu số thời gian thực nhằm phục vụ quản lý và hoạch định chính sách địa phương. Nghiên cứu được thực hiện trong giai đoạn 2021–2022 dựa trên dữ liệu từ Sở Tài nguyên và Môi trường (hiện là Sở Nông nghiệp và Môi trường – NN&MT), Ban Quản lý các Khu công nghiệp (KCN) và các doanh nghiệp xử lý CTNH. Kết quả kỳ vọng phản ánh chính xác hiện trạng dòng CTNH tại hai tỉnh và đưa ra kiến nghị khả thi hướng tới hệ thống quản lý hiện đại, bền vững hơn, đáp ứng yêu cầu công nghiệp hóa nhanh và áp lực môi trường gia tăng ở cấp địa phương và quốc gia.

2. Phương pháp

2.1. Phương pháp khảo sát, thu thập số liệu

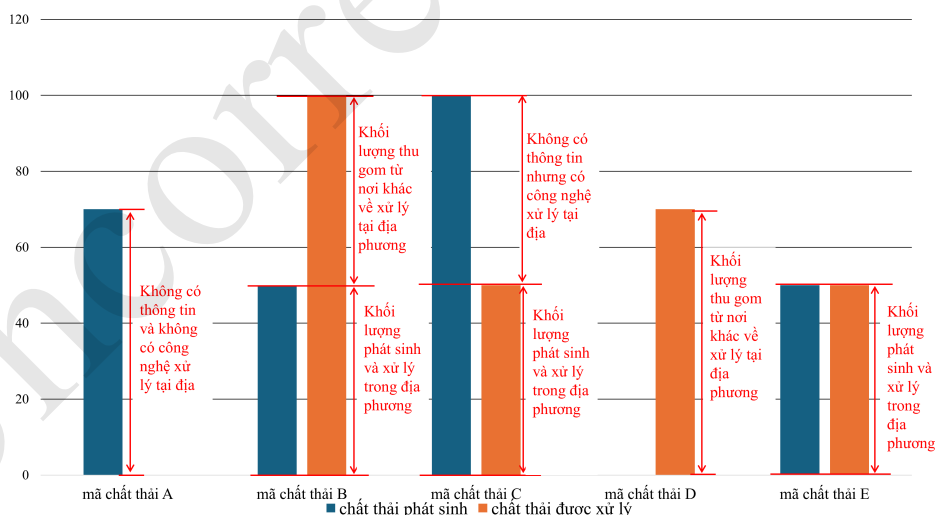
Nhằm thu thập dữ liệu về phát sinh, xử lý và hiện trạng quản lý chất thải nguy hại (CTNH) ở cấp tỉnh, nhóm nghiên cứu đã tiến hành khảo sát thực địa và thu thập số liệu thứ cấp từ các cơ quan chức năng, bao gồm Sở NN&MT và Ban Quản lý các KCN tại hai tỉnh Thái Nguyên và Vĩnh Phúc. Sở NN&MT chịu trách nhiệm quản lý các cơ sở phát sinh và xử lý CTNH ngoài KCN, trong khi Ban Quản lý KCN quản lý các cơ sở nằm trong KCN và khu chế xuất. Dữ liệu được thu thập thông qua các buổi làm việc trực tiếp và từ báo cáo công tác bảo vệ môi trường của các cơ sở phát sinh và xử lý CTNH. Dữ liệu CTNH năm 2021 và 2022 được thu thập tại Thái Nguyên và Vĩnh Phúc từ các đơn vị quản lý. Các cơ sở phát sinh CTNH được thống kê theo Mẫu số 03 Phụ lục VI của Thông tư 02/2022/TT-BTNMT, trong đó thông tin về mã CTNH không được nêu rõ và phải suy luận từ loại hình sản xuất [29]. Đối với các cơ sở xử lý, dữ liệu đã được phân loại mã CTNH theo chuẩn và tổng hợp để xác định khối lượng CTNH đã xử lý trên địa bàn. Cách tiếp cận này cho phép đánh giá hiệu quả quản lý và khai thác thông tin CTNH ở cấp địa phương.

2.2. Phương pháp MFA để phân tích dữ liệu CTNH tại Việt Nam

a. Nguyên lý ứng dụng MFA phân tích dòng CTNH

Phương pháp Phân tích Dòng Vật chất (MFA) là công cụ đánh giá quá trình chuyển đổi, vận chuyển và lưu trữ vật liệu trong một hệ thống xác định [8, 9]. MFA lập kiểm kê các dòng vật chất và hoạt động xử lý, từ đó cung cấp cái nhìn tổng quan về hệ thống quản lý chất thải [8]. Phương pháp này làm rõ mối liên kết giữa đầu vào, quá trình và đầu ra của hệ thống dựa trên nguyên tắc cân bằng khối lượng, qua đó hỗ trợ nâng cao hiểu biết và kiểm soát quản lý chất thải [8].

Nguyên lý của phương pháp này là so sánh hai bảng dữ liệu CTNH: (i) dữ liệu phát sinh; (ii) dữ liệu xử lý. Nhóm khảo sát đã thu thập cả hai bảng dữ liệu, tập trung vào mã CTNH (bốn chữ số) được phân loại theo Thông tư 02/2022/TT-BTNMT. Các bước xử lý dữ liệu được phân loại thành các trường hợp minh họa trong Hình 1.



Hình 1. Biểu đồ mô tả nguyên lý tính toán dòng vật chất

Nguyên lý của quá trình sẽ xảy ra trong các trường hợp sau:

- Trường hợp số 1: Dữ liệu ghi nhận mã CTNH chỉ xuất hiện ở dữ liệu phát sinh. Trường hợp này sẽ đưa mã đó kèm khối lượng vào dòng “Không có thông tin và không có công nghệ xử lý”.

- Trường hợp số 2: Dữ liệu ghi nhận mã CTNH đều xuất hiện ở dữ liệu phát sinh và dữ liệu xử lý nhưng khối lượng xử lý nhiều hơn phát sinh. Ở trường hợp này, phần khối lượng bằng nhau được đưa về dòng “Phát sinh và xử lý trong địa phương” và phần khối lượng chênh lệch của xử lý nhiều hơn phát sinh được đưa về dòng “Thu gom từ nơi khác về xử lý tại địa phương”.

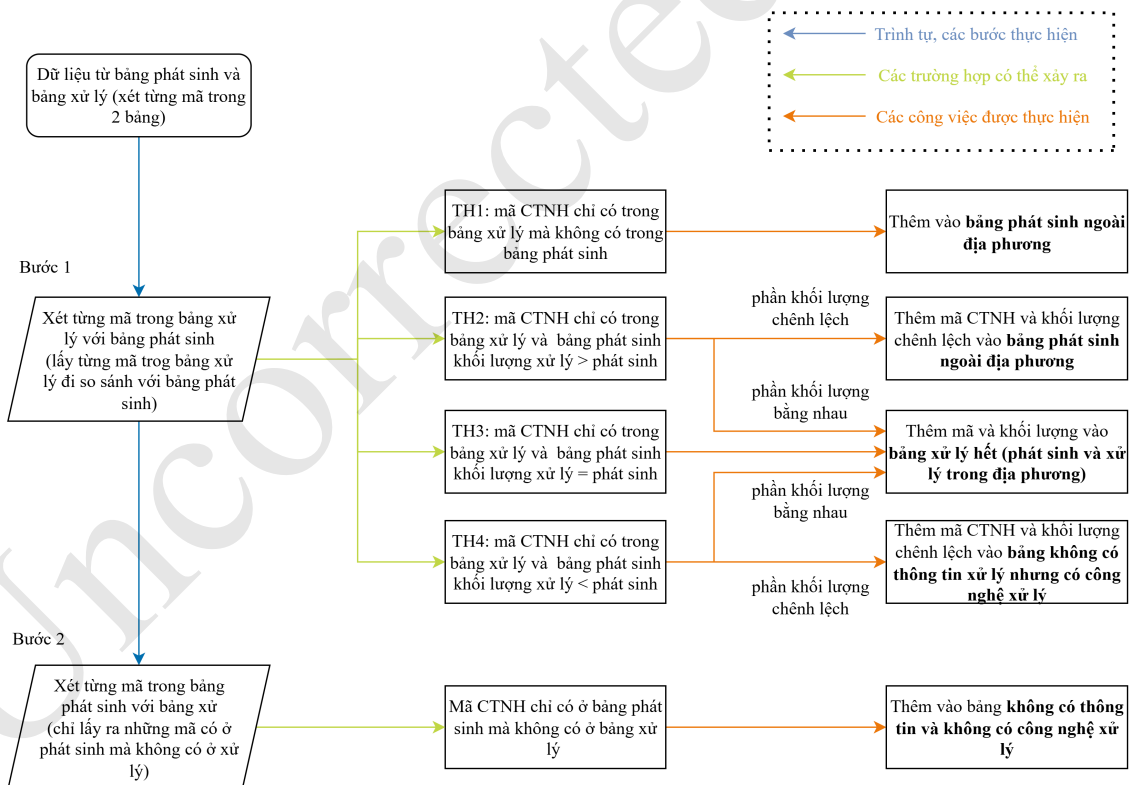
- Trường hợp số 3: Dữ liệu ghi nhận mã CTNH đều xuất hiện ở dữ liệu phát sinh và dữ liệu xử lý nhưng khối lượng phát sinh nhiều hơn xử lý. Phần khối lượng bằng nhau được đưa về dòng “Phát sinh và xử lý trong địa phương” và phần khối lượng chênh lệch của phát sinh nhiều hơn xử lý được đưa về dòng “Không có thông tin nhưng có công nghệ xử lý tại địa phương”.

- Trường hợp số 4: Dữ liệu ghi nhận mã CTNH chỉ xuất hiện ở dữ liệu xử lý. Mã này và khối lượng được đưa vào dòng “Thu gom từ nơi khác về xử lý tại địa phương”.

- Trường hợp số 5: Dữ liệu ghi nhận mã CTNH đều xuất hiện ở dữ liệu phát sinh và dữ liệu xử lý, đồng thời khối lượng bằng nhau. Mã CTNH này và khối lượng bằng nhau được đưa vào dòng “Phát sinh và xử lý trong địa phương”.

b. Thực hiện phân tích với phần mềm Microsoft Excel 365

Quá trình tính toán được thực hiện trên Microsoft Excel 365, bao gồm làm sạch dữ liệu và loại bỏ các dòng thiếu thông tin và tổng hợp mã CTNH sáu chữ số thành nhóm bốn chữ số theo Thông tư 02/2022/TT BTNMT. Sau đó, các mã CTNH của hai bảng dữ liệu được so sánh để xác định chênh lệch, kết quả được ghi vào bảng tổng hợp. Các phép tính được thực hiện bằng hàm SUM và các công thức tùy chỉnh trong Excel. Các bước xử lý chi tiết được minh họa ở Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ thực hiện quy trình thực hiện phân tích dữ liệu CTNH bằng phương pháp MFA

Hình 2 mô tả quy trình phân tích dữ liệu từ hai bảng: (i) bảng ghi nhận mã và khối lượng CTNH phát sinh; (ii) bảng ghi nhận mã và khối lượng CTNH đã xử lý. Ở bước 1, từng mã trong bảng xử lý

được so sánh với bảng phát sinh và được phân loại vào bốn trường hợp: (1) chỉ có trong bảng xử lý; (2) có ở cả hai bảng nhưng khối lượng xử lý lớn hơn phát sinh; (3) khối lượng phát sinh và xử lý bằng nhau; và (4) khối lượng xử lý nhỏ hơn phát sinh. Các mã thuộc trường hợp (1) và phần khối lượng chênh lệch của trường hợp (2) được quy về dòng “phát sinh ngoài địa phương/thu gom từ nơi khác về xử lý”. Các mã thuộc trường hợp (3) và phần khối lượng trùng khớp của trường hợp (2) và (4) được đưa vào dòng “phát sinh và xử lý trong địa phương”. Phần khối lượng chênh lệch của trường hợp (4) được đưa vào dòng “không có thông tin xử lý nhưng có công nghệ xử lý tại địa phương”. Ở bước 2, những mã có trong bảng phát sinh nhưng không xuất hiện trong bảng xử lý được đưa vào dòng “không có thông tin xử lý và không có công nghệ xử lý tại địa phương”. Việc tách bước 2 giúp tránh trùng lặp với các mã đã được phân loại ở bước 1.

2.3. Phương pháp phân tích dữ liệu bằng phần mềm Stan2

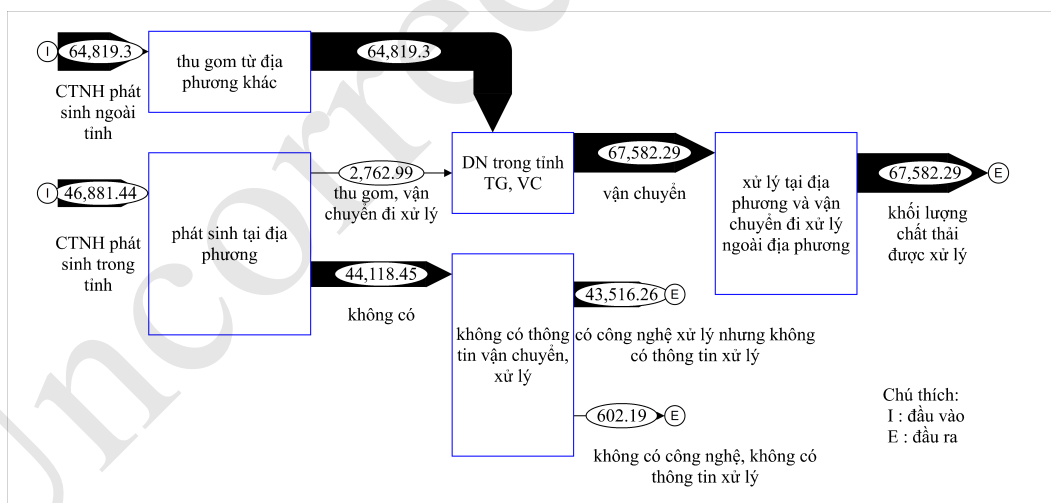
Mô hình cân bằng dòng vật chất được thiết lập bằng phần mềm Stan2 (phiên bản 2.7). Các khối và dòng dữ liệu được định nghĩa thủ công, sau đó dữ liệu tổng hợp từ Microsoft Excel 365 được nhập vào Stan2 để cân bằng dòng vật chất.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Lượng hóa dòng CTNH cấp tỉnh

a. Kết quả phân tích dòng CTNH tỉnh Thái Nguyên năm 2021

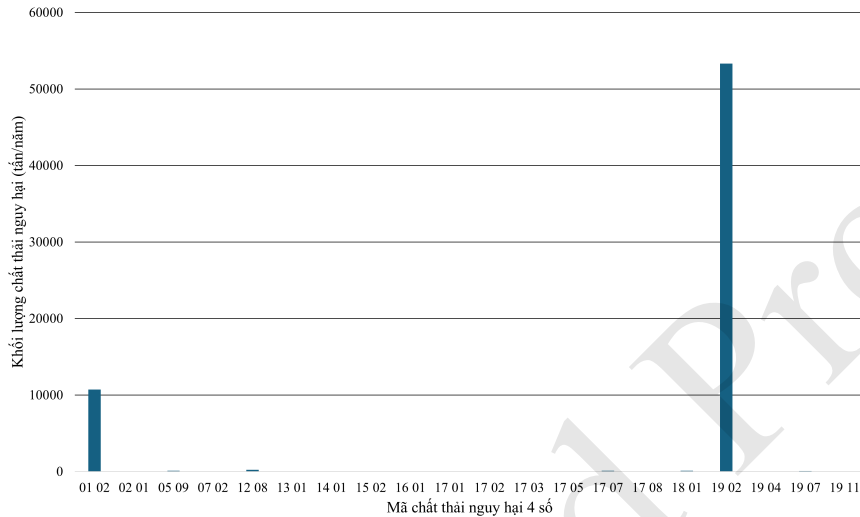
Kết quả phân tích dòng CTNH của tỉnh Thái Nguyên năm 2021 được trình bày trong Hình 3. Tổng lượng CTNH phát sinh khoảng 46881 tấn, trong đó chỉ 2762 tấn (5,9%) được thu gom và xử lý trong tỉnh. Khối lượng CTNH từ các địa phương khác vận chuyển về Thái Nguyên để xử lý đạt khoảng 64819 tấn, chiếm 95,9% tổng lượng CTNH do các cơ sở xử lý trong tỉnh tiếp nhận. Trong đó 94,1% CTNH phát sinh từ các cơ sở sản xuất tại Thái Nguyên không được xử lý trong tỉnh, dù phần lớn đã có công nghệ xử lý phù hợp.



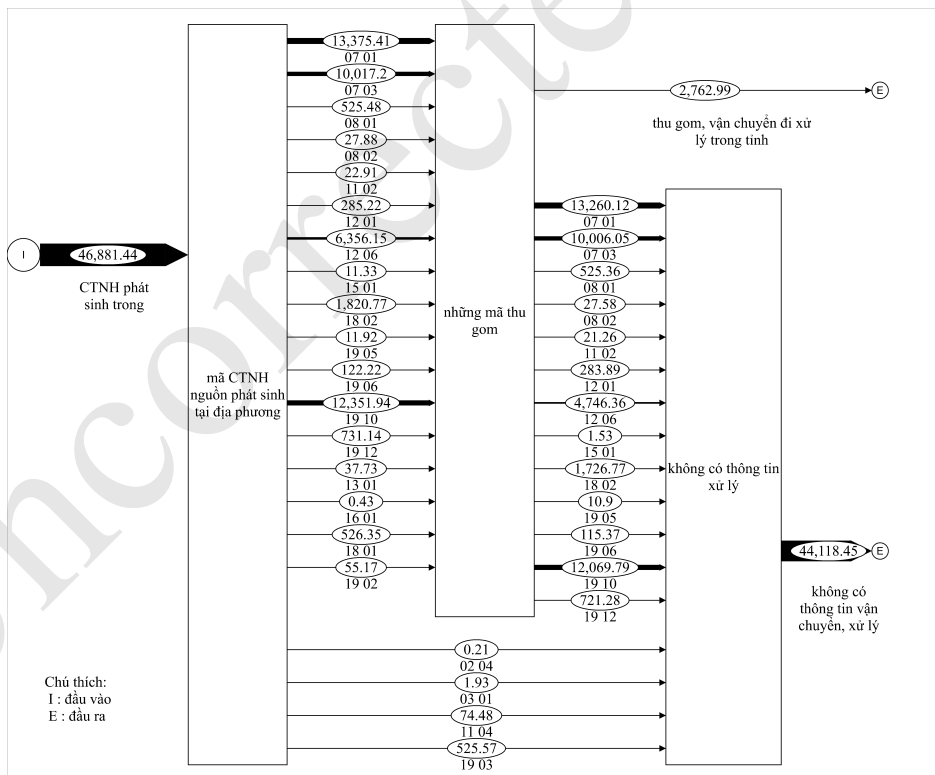
Hình 3. Sơ đồ phân tích dòng CTNH bằng phương pháp MFA cho tỉnh Thái Nguyên năm 2021 (tấn/năm)

Khối lượng CTNH từ các tỉnh khác vận chuyển về Thái Nguyên để xử lý đạt hơn 64819 tấn, trong đó mã 19 02 chiếm 82,2% và mã 01 02 chiếm 16,5% thể hiện ở Hình 4. Đối với CTNH phát sinh trong tỉnh, các cơ sở sản xuất tạo ra 21 mã CTNH (mã 4 chữ số) với tổng khối lượng hơn 46881 tấn. Các cơ sở xử lý tại Thái Nguyên có công nghệ phù hợp cho 17/21 mã, nhưng chỉ khoảng 2762 tấn được thu gom và xử lý. Bốn mã CTNH còn lại không có công nghệ xử lý trong tỉnh, chiếm gần 1,4% tổng

lượng phát sinh. Phần lớn CTNH có công nghệ xử lý tại địa phương, chiếm khoảng 95,9%, vẫn do các cơ sở xử lý ngoài địa bàn tỉnh thu gom đi xử lý nơi khác hoặc không có thông tin về thu gom, xử lý trong các báo cáo về CTNH. Chi tiết các mã CTNH không có thông tin vận chuyển và xử lý được thể hiện trong Hình 5.



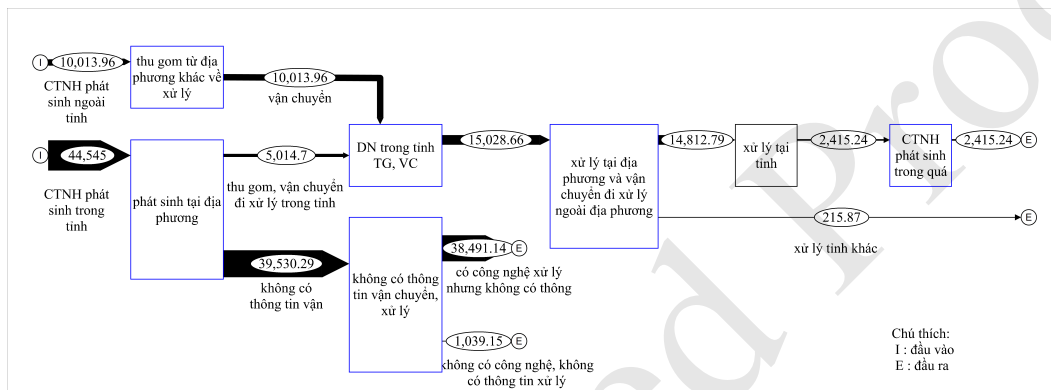
Hình 4. Biểu đồ phân tích dòng CTNH ngoài địa phương đưa về xử lý tại tỉnh Thái Nguyên năm 2021



Hình 5. Sơ đồ các loại CTNH được thu gom và không có thông tin thu gom trong tỉnh Thái Nguyên năm 2021 (tấn/năm)

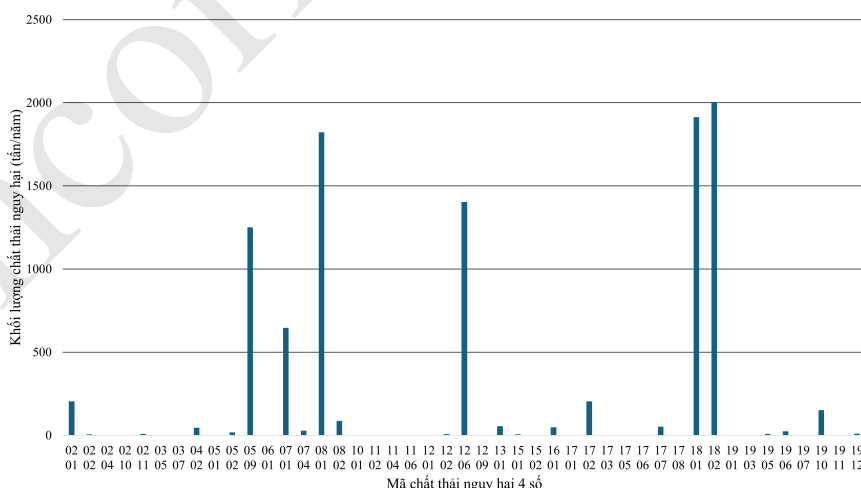
b. Kết quả phân tích dòng CTNH tỉnh Vĩnh Phúc năm 2022

Hình 6 thể hiện kết quả phân tích dòng CTNH tại Vĩnh Phúc năm 2022. Tổng lượng CTNH phát sinh trong tỉnh đạt khoảng 44545 tấn, trong đó 86,4% không có thông tin xử lý mặc dù địa phương đã có công nghệ phù hợp. Khối lượng được thu gom và xử lý tại các cơ sở trong tỉnh chỉ chiếm 11,2% lượng CTNH phát sinh. Trong năm 2022, các cơ sở xử lý tại Vĩnh Phúc ghi nhận xử lý khoảng 15028 tấn CTNH, bao gồm cả từ các cơ sở phát sinh trong và ngoài tỉnh. Lượng CTNH từ các địa phương khác vận chuyển về xử lý tại Vĩnh Phúc đạt khoảng 10013 tấn, tương đương 66,6% tổng lượng CTNH được các doanh nghiệp trong tỉnh thu gom và xử lý, cao gần gấp đôi so với lượng xử lý của các cơ sở phát sinh trong tỉnh.

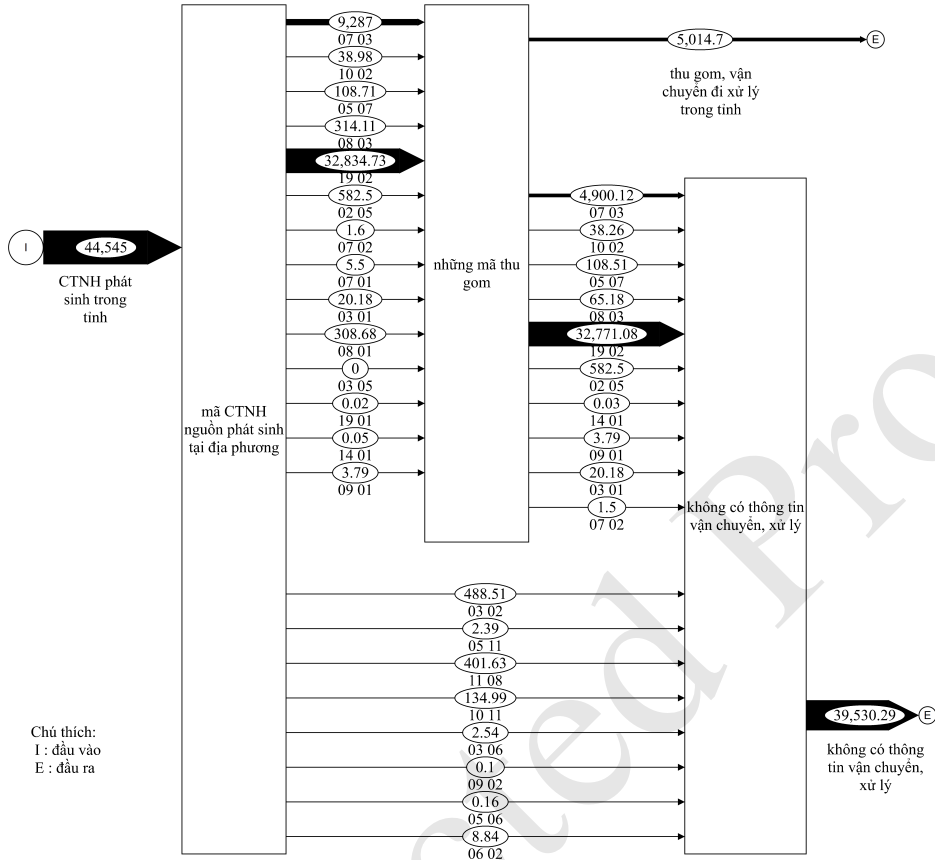


Hình 6. Sơ đồ phân tích dòng CTNH bằng phương pháp MFA cho tỉnh Vĩnh Phúc năm 2022 (tấn/năm)

Hình 7 trình bày phân tích dòng CTNH thu gom từ các địa phương khác về Vĩnh Phúc để xử lý với tổng khối lượng hơn 10013 tấn. Các mã CTNH chiếm tỷ trọng lớn nhất lần lượt là mã 18 02 chiếm 20,2%, mã 18 01 chiếm 19,1%, mã 08 01 chiếm 18,2%, mã 12 06 chiếm 14%, mã 05 09 chiếm 12,4% và mã 07 01 chiếm 6,4%. Đối với CTNH phát sinh trong tỉnh, khoảng 39500 tấn không có thông tin xử lý mặc dù địa phương có công nghệ phù hợp. Riêng mã CTNH 19 02 chiếm 32834 tấn, tương đương 83% lượng CTNH phát sinh tại Vĩnh Phúc, nhưng không có thông tin xử lý. Chi tiết các mã CTNH phát sinh từ các cơ sở sản xuất trên địa bàn tỉnh được thể hiện trong Hình 8.



Hình 7. Biểu đồ phân tích dòng CTNH ngoài địa phương đưa về xử lý tại tỉnh Vĩnh Phúc năm 2022



Hình 8. Sơ đồ các loại CTNH được thu gom và không có thông tin thu gom trong tỉnh Vĩnh Phúc năm 2022 (tấn/năm)

3.2. Một số vấn đề về quản lý và hạ tầng xử lý

Bên cạnh kết quả dòng CTNH của hai tỉnh Thái Nguyên và Vĩnh Phúc, nghiên cứu đã chỉ ra một số thách thức trong quản lý CTNH tại hai tỉnh. Thứ nhất, chưa có hệ thống cơ sở dữ liệu trực tuyến. Các báo cáo vẫn tồn tại dưới dạng văn bản hành chính hoặc tệp số hóa từ bản giấy, mặc dù mục tiêu chuyển đổi số quốc gia đến năm 2025 đã được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt tại Quyết định số 749/QĐ-TTg [30]. Thực trạng này xuất phát từ rào cản về nhân lực, chính sách và chi phí công nghệ, trong đó trình độ ứng dụng công nghệ của cơ quan quản lý còn hạn chế. Tình trạng này tương tự các tỉnh phía Nam Việt Nam [24].

Thứ hai, quy trình tổng hợp dữ liệu còn gây thất thoát và lãng phí thông tin. Các cơ sở sản xuất, kinh doanh và doanh nghiệp khi báo cáo đều ghi rõ khối lượng và mã CTNH theo Thông tư 02/2022/TT-BTNMT. Tuy nhiên, trong quá trình báo cáo lên các cấp trên, cơ quan quản lý chỉ báo cáo thông tin về loại hình sản xuất của từng cơ sở. Điều này làm mất chi tiết về từng loại CTNH, mặc dù các cơ sở đã báo cáo rất cụ thể. Trên thực tế, các cơ sở cùng loại hình sản xuất có thể phát sinh CTNH khác nhau do khác biệt về công nghệ, quy trình và mức độ tái sử dụng vật liệu. Do đó, nghiên cứu chỉ có thể phân tích dữ liệu theo mã CTNH 4 chữ số. Mã này phản ánh nhóm chất thải theo loại hình sản xuất, trong khi mã CTNH 6 chữ số cung cấp thông tin chi tiết hơn về trạng thái và tính chất của chất thải. Việc chỉ phân tích ở mức 4 chữ số giúp cơ quan quản lý định hướng phát triển hạ tầng xử lý theo loại hình sản xuất, nhưng chưa đủ chính xác để thiết kế hạ tầng xử lý chi tiết.

Thứ ba, mức độ ứng dụng công nghệ tại cơ quan quản lý còn hạn chế. Việc xử lý dữ liệu chủ yếu

dựa trên các phần mềm văn phòng cơ bản, thiếu công cụ phân tích dữ liệu hiện đại và quy trình tự động hóa. Điều này kéo theo khối lượng thao tác thủ công lớn, tiêu tốn thời gian và dễ phát sinh sai sót.

3.3. *Tiềm năng của việc tích hợp MFA với nền tảng dữ liệu số thời gian thực*

Dựa trên kết quả phân tích dòng vật chất và các hạn chế hiện tại, nghiên cứu đề xuất tích hợp phương pháp MFA với nền tảng dữ liệu số thời gian thực nhằm hỗ trợ ra quyết định trong quản lý CTNH. Kinh nghiệm quốc tế đã cho thấy việc kết hợp MFA và cơ sở dữ liệu thời gian thực góp phần nâng cao hiệu quả quản trị, minh bạch thông tin và tối ưu hóa nguồn lực. Việc tự động hóa quy trình phân tích và trực quan hóa dữ liệu giúp phản ánh chính xác hiện trạng, hỗ trợ cơ quan quản lý có cái nhìn toàn diện về dòng CTNH. Cụ thể, tích hợp MFA với dữ liệu thời gian thực mang lại ba lợi ích chính: (i) nâng cao tính minh bạch và hiệu quả giám sát dòng phát sinh và xử lý CTNH theo thời gian thực; (ii) nâng cao hiệu quả phân tích thông qua tự động hóa, giảm thao tác thủ công và sai sót; (iii) cung cấp nền tảng dữ liệu trực quan giúp hỗ trợ nhanh chóng quá trình ra quyết định và hoạch định chính sách.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã áp dụng phương pháp phân tích dòng vật chất (MFA) trên dữ liệu thực tế tại một số tỉnh miền Bắc Việt Nam để đánh giá hiện trạng phát sinh, thu gom và xử lý chất thải nguy hại (CTNH) ở cấp tỉnh. Cách tiếp cận này mở ra hướng đi mới trong phân tích dữ liệu CTNH, hỗ trợ cơ quan quản lý nhận diện tổng quan dòng chất thải, xác định điểm nghẽn và đề xuất giải pháp phù hợp với Quy hoạch bảo vệ môi trường quốc gia. MFA đã cho thấy hiệu quả trong việc phát hiện dòng CTNH không minh bạch hoặc vận chuyển liên tỉnh, cũng như các trường hợp có công nghệ xử lý tại địa phương nhưng không có thông tin xử lý. Kết quả phân tích cho thấy hệ thống báo cáo dữ liệu hiện còn phân mảnh, thiếu tích hợp giữa các cấp, và chưa tận dụng hiệu quả dữ liệu chi tiết từ doanh nghiệp. Việc đề xuất tích hợp MFA với nền tảng dữ liệu số thời gian thực có tiềm năng nâng cao tính minh bạch, hỗ trợ quy hoạch hạ tầng liên vùng và cải thiện năng lực quản lý chất thải tại địa phương.

Tuy nhiên, nghiên cứu còn một số hạn chế. Thứ nhất, việc áp dụng MFA chưa xác định rõ khối lượng CTNH không có thông tin xử lý, do có thể vẫn đang được lưu trữ tại nguồn phát sinh hoặc cơ sở xử lý, gây khó khăn trong kiểm soát. Thứ hai, nguồn dữ liệu sử dụng là dữ liệu thứ cấp, chủ yếu từ báo cáo hàng năm của doanh nghiệp, nên chưa phản ánh kịp thời hiện trạng phát sinh và xử lý. Việc khắc phục vấn đề này đòi hỏi xây dựng hệ thống cơ sở dữ liệu cập nhật liên tục, gắn với quá trình chuyển đổi số trong quản lý. Thứ ba, quy trình MFA hiện được thực hiện thủ công bằng phần mềm văn phòng cơ bản, làm tăng thời gian xử lý và tiềm ẩn nguy cơ sai sót khi dữ liệu lớn. Các nghiên cứu tiếp theo nên mở rộng nghiên cứu MFA cho các tỉnh thành khác, đồng thời phát triển bộ công cụ phân tích và trực quan hóa dữ liệu nhằm tự động hóa quy trình. Bên cạnh đó, việc thu thập đầy đủ dữ liệu từ các cơ sở kinh doanh quy mô hộ gia đình và ngoài khu công nghiệp là cần thiết để mô hình hóa toàn diện hơn, từ đó nâng cao hiệu quả quản lý CTNH theo hướng kinh tế tuần hoàn và phát triển bền vững.

Lời cảm ơn

Tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ của Khoa Kỹ Thuật Môi Trường, Trường Đại học Xây Dựng Hà Nội và Công ty ALBA cho dự án “Tổng quan quản lý CTNH ở các tỉnh phía bắc Việt Nam” đã hỗ trợ thu thập số liệu để có thể hoàn thành nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1] World Health Organization (2016). *WHO guideline on the use of safety-engineered syringes for intramuscular, intradermal and subcutaneous injections in health care settings*. World Health Organization, Geneva. Accessed on 05/05/2025.

- [2] Yadav, D., Kumar, P., Singh, P., Vallero, D. A. (2021). *Hazardous Waste Management: An Overview of Advanced and Cost-Effective Solutions*. Elsevier, Amsterdam.
- [3] Sanito, R. C., Bernuy-Zumaeta, M., You, S. J., Wang, Y. F. (2022). *A review on vitrification technologies of hazardous waste*. *Journal of Environmental Management*, 316:115243.
- [4] Arai, R., Calisto Friant, M., Vermeulen, W. J. V. (2024). *The Japanese Circular Economy and Sound Material-Cycle Society Policies: Discourse and Policy Analysis*. *Circular Economy and Sustainability*, 4 (1):619–650.
- [5] Karn, A. L., Pandya, S., Mehbodniya, A., Arslan, F., Sharma, D. K., Phasinam, K., Aftab, M. N., Rajan, R., Bommisetti, R. K., Sengan, S. (2023). *An integrated approach for sustainable development of wastewater treatment and management system using IoT in smart cities*. *Soft Computing*, 27(8):5159–5175.
- [6] John, J., Varkey, M. S., Podder, R. S., Sensarma, N., Selvi, M., Santhosh Kumar, S. V. N., Kannan, A. (2022). *Smart Prediction and Monitoring of Waste Disposal System Using IoT and Cloud for IoT Based Smart Cities*. *Wireless Personal Communications*, 122(1):243–275.
- [7] United States Environmental Protection Agency (2025). *Hazardous Waste Manifest System*. Accessed on 25/04/2025.
- [8] Allesch, A., Brunner, P. H. (2015). *Material flow analysis as a decision support tool for waste management: A literature review*. *Journal of Industrial Ecology*, 19(5):753–764.
- [9] Brunner, P. H., Rechberger, H. (2004). *Practical Handbook of Material Flow Analysis*. CRC Press, Boca Raton.
- [10] Deshpande, P. C., Philis, G., Brattebø, H., Fet, A. M. (2020). *Using Material Flow Analysis (MFA) to generate the evidence on plastic waste management from commercial fishing gears in Norway*. *Resources, Conservation & Recycling: X*, 5:100024.
- [11] Owusu-Sekyere, K., Aladago, D. A. (2023). *Material flow analysis and risk evaluation of informal E-waste recycling processes in Ghana: Towards sustainable management strategies*. *Journal of Cleaner Production*, 430:139706.
- [12] Allesch, A., Brunner, P. H. (2017). *Material Flow Analysis as a Tool to improve Waste Management Systems: The Case of Austria*. *Environmental Science & Technology*, 51(1):540–551.
- [13] Stanisavljevic, N., Brunner, P. H. (2014). *Combination of material flow analysis and substance flow analysis: A powerful approach for decision support in waste management*. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 32(8):733–744.
- [14] Stanisavljevic, N., Vujovic, S., Zivancev, M., Batinic, B., Tot, B., Ubavin, D. (2015). *Application of MFA as a decision support tool for waste management in small municipalities – case study of Serbia*. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 33(6):550–560.
- [15] Chaisrisuk, H., Charoensaeng, A., Khaodhiar, S. (2019). *Hazardous Waste Management from Garages in Bangkok by Material Flow Analysis (MFA)*. *Journal of Industrial and Intelligent Information*, 7(2): 33–36.
- [16] Yagi, M., Kokubu, K. (2018). *Corporate material flow management in Thailand: The way to material flow cost accounting*. *Journal of Cleaner Production*, 198:763–775.
- [17] Lella, J., Mandla, V. R., Zhu, X. (2018). *GIS and MFA approach for solid waste management towards Indian proposed smart-city*. *Journal of Rural Development*, 37(2):299–324.
- [18] Ahmad, M. O., Tripathi, G., Siddiqui, F., Alam, M. A., Ahad, M. A., Akhtar, M. M., Casalino, G. (2023). *BAAuth-ZKP—A Blockchain-Based Multi-Factor Authentication Mechanism for Securing Smart Cities*. *Sensors*, 23(5):2757.
- [19] Thai, N. T. K., Khanh, N. V. (2009). Áp dụng “Phân tích dòng luân chuyển vật chất” để cải thiện quản lý tại nhà máy xử lý chất thải rắn hữu cơ Cầu Diễn - Hà Nội. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng - Trường Đại học Xây dựng Hà Nội*, 9(1):79–85.
- [20] Kien, T. T., Huyen, D. T. T., Thu, N. H. A., Thang, N. V. (2021). Ứng dụng phân tích dòng vật chất (MFA) đánh giá khả năng tái tuần hoàn dòng Nitơ trong mô hình ao nuôi cá tra theo hướng sinh thái khép kín. *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh - Khoa học Trái đất và Môi trường*, 5(1):1–12.
- [21] My, N. T., Binh, C. T., Anh, N. H. (2021). Ứng dụng mô hình phân tích dòng vật chất trong quản lý tài

- nguyên nước ngành công nghiệp gang thép. *Tài Nguyên và Môi Trường*, (2):36–38.
- [22] van Beers, D., Flammini, A., Meylan, F. D., Stucki, J. (2019). [Lessons learned from the application of the unido eco-industrial park toolbox in Viet Nam and other countries](#). *Sustainability*, 11(17):4687.
- [23] Hobbes, M., Stalpers, S. I. P., Kooijman, J., Le, T. T. T., Trinh, K. C., Phan, T. A. D. (2007). [Material flows in a social context: A Vietnamese case study combining the materials flow analysis and action-in-context frameworks](#). *Journal of Industrial Ecology*, 11(1):141–159.
- [24] Châu, N. Đ., Hiền, H. T. T., Thanh, L. T. (2022). [Hiện trạng chuyển đổi số trong quản lý chất thải công nghiệp hướng tới kinh tế tuần hoàn tại các tỉnh phía Nam](#). *Vietnam Journal of Hydrometeorology*, EME4 (1):169–180.
- [25] Faculty of Environmental Engineering (2023). *Final Report of the Reviewing of Hazardous Waste Generated from Five Provinces in the North of Vietnam Project*. Hanoi University of Civil Engineering.
- [26] Tạp chí điện tử Công nghiệp môi trường (2023). [Vĩnh Phúc chủ trọng công tác bảo vệ môi trường trong lĩnh vực công nghiệp](#). Hiệp hội Công nghiệp môi trường Việt Nam. Truy cập ngày 09/04/2025.
- [27] Cổng thông tin điện tử tỉnh Thái Nguyên (2024). [Công nghiệp bán dẫn - động lực mới cho Thái Nguyên](#). Ủy ban nhân dân tỉnh Thái Nguyên. Truy cập ngày 25/04/2025.
- [28] Thủ tướng Chính phủ (2024). *Phê duyệt Quy hoạch bảo vệ môi trường quốc gia thời kỳ 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050*. Số 611/QĐ-TTg, 08/07/2024.
- [29] Bộ Tài nguyên và Môi trường (2022). *Quy định chi tiết thi hành một số điều của Luật Bảo vệ môi trường*. Số 02/2022/TT-BTNMT, 10/01/2022.
- [30] Thủ tướng Chính phủ (2020). *Phê duyệt “Chương trình Chuyển đổi số quốc gia đến năm 2025, định hướng đến năm 2030”*. Số 749/QĐ-TTg, 30/06/2020.